



HAL
open science

La mutualisation des boucles énergétiques de chauffage au sein des projets d'aménagement de faible ampleur

Flavie Hervé

► **To cite this version:**

Flavie Hervé. La mutualisation des boucles énergétiques de chauffage au sein des projets d'aménagement de faible ampleur. Sciences de l'environnement. 2020. dumas-03003269

HAL Id: dumas-03003269

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03003269>

Submitted on 13 Nov 2020

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

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

**CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS
ECOLE SUPERIEURE DES GEOMETRES ET TOPOGRAPHES**

MÉMOIRE

présenté en vue d'obtenir

LE DIPLÔME NATIONAL DE MASTER

« Sciences, Technologies, Santé »

Mention « Identification, Aménagement et gestion du Foncier »

par

Flavie HERVÉ

La mutualisation des boucles énergétiques de chauffage
au sein des projets d'aménagement de faible ampleur

Soutenu le 08 juillet 2020

JURY

Monsieur Christophe PROUDHOM	Président du jury
Monsieur Nicolas CHAUVIN	Examineur
Monsieur Xavier PRIGENT	Maître de stage
Monsieur Jérémie ROBERT	Enseignant référent

Remerciements

L'écriture de ce mémoire a été possible grâce aux échanges et au soutien de plusieurs intervenants à qui je souhaiterais exprimer toute ma gratitude.

Je souhaite adresser mes premiers remerciements à mon maître de stage, M Xavier PRIGENT, associé du cabinet Prigent et Associés. Je voudrais le remercier pour sa disponibilité, sa patience et son aide qui a permis d'alimenter et guider ma réflexion.

Je désire également remercier l'ensemble des salariés de l'entreprise Prigent et Associés de m'avoir accueillie chaleureusement et aidée lors de mes interrogations. Je souhaite remercier particulièrement Mme Marie MILIN, pour sa présence et son accompagnement durant ma réflexion et lors de nos divers entretiens avec des structures extérieures à l'entreprise.

J'aimerais exprimer toute ma reconnaissance aux différentes entreprises et structures publiques pour avoir répondu positivement à mes demandes de rendez-vous, malgré les circonstances exceptionnelles du confinement. Leurs participations ont été essentielles à la compréhension du contexte de mon sujet, ainsi qu'aux solutions envisagées.

Je tiens à remercier également les professeurs de l'ESGT, M Jérémie ROBERT et Mme Elisabeth BOTREL, pour m'avoir fourni les aides et outils nécessaires à la rédaction de mon mémoire.

Enfin, j'aimerais remercier mes amis, ma famille et mes collègues de promotion pour leurs conseils, leurs aides manuscrites et artistiques, ainsi que leurs soutiens moraux et intellectuels.

Liste des abréviations

ADEME : Agence de la transition énergétique

BePOS : Bâtiment à énergie Positive

DSP : Délégation de Service Public

EnR&R : Énergie Renouvelable et/ou de Récupération

EPCI : Établissement Public de Coopération Intercommunale

FNCCR : Fédération Nationale des Collectivités Concédantes et Régies

GES : Gaz à Effet de Serre

MOA : Maître d’Ouvrage

LTECV : Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte

OAP : Orientation d’Aménagement et de Programmation

PADD : Projet d’Aménagement et de Développement Durable

PCAET : Plan Climat Air Énergie Territorial

PLU (i) : Plan Local d’Urbanisme (intercommunale)

RNU : Règlement National de l’Urbanisme

RT : Règlementation Thermique

RTE : Réseau de Transport de l’Énergie

SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale

SDE : Schéma Directeur des Énergies

SDRC : Schéma Directeur des Réseaux de Chaleur

SIG : Système d’Information Géographique

TFE : Travail de Fin d’Étude

TVA : Taxe sur la Valeur Ajouté

UIOM : Usine d’Incinération des Ordures

UVE : Unité de Valorisation Énergétique

Glossaire

C

Calorifuge : Élément empêchant la déperdition de chaleur grâce à ses propriétés isolantes.

Collectivité : Circonscription administrative possédant la personnalité morale.

Construction à énergie positive ou bâtiment à énergie positive (BePos) : Bâtiment produisant un surplus d'énergie en comparaison de celle nécessaire à son bon fonctionnement. Ce type de construction veille à réduire la consommation d'énergie, ainsi qu'à favoriser le recours aux énergies renouvelables et de récupération.

D

Déperdition thermique : Perte de chaleur liée aux ponts thermiques d'un bâtiment et qui permettent un échange d'air avec l'extérieur. En général les surfaces comportant une déperdition thermique ont des parois donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé.

E

Énergie finale : Énergie consommée et facturée à l'utilisateur. Elle prend en compte la transformation et le transport des énergies primaires.

Énergie positive : Énergie produisant un effet positif sur l'environnement. Elle est généralement utilisée pour parler des énergies renouvelables et de récupération.

Énergie primaire : Énergie contenue dans les ressources naturelles avant de subir une transformation. (Ex : Fioul, Gaz)

Énergie utile : Énergie à la disposition de l'utilisateur après la dernière conversion par ses propres appareils.

F

Fluide caloporteur : Fluide chargé de transporter la chaleur.

Foisonnement : Phénomène permettant le lissage de la demande de chaleur sur une zone grâce aux besoins de chaleur décalés entre les différents bâtiments.

G

Génératrice supérieure : Ligne formée par les points extérieurs les plus hauts d'une canalisation.

L

Lissage des pics : Régulation de la demande de chaleur sur une période (journée, semaine), afin de réduire les pics de consommation.

M

Mix énergétique : ou bouquet énergétique, il est la répartition des différentes sources énergétiques utilisées sur une zone géographique ou dans un domaine, tel que le chauffage.

O

Open source : Logiciel permettant à toute personne d'avoir un libre accès à l'utilisation de ce logiciel et à ses codes sources.

P

Passoire thermique : Qualificatif d'un bâtiment comportant de forts ponts thermiques.

R

Réseau vertueux : Réseau possédant un mix énergétique alimenté à plus de 50% par des énergies renouvelables et de récupération.

S

SIG : Système d'information géographique, système informatique permettant de recueillir, traiter et analyser des données spatiales et géographiques dans l'intérêt de géoréférencer une information.

Sobriété énergétique : Concept ayant pour but de réduire les consommations d'énergies grâce à des changements du mode de vie.

T

Trames vertes et bleues : Démarche visant à préserver un réseau de circulation, de reproduction et d'alimentation pour les espèces animales et végétales. Ces trames ont pour but d'assurer le cycle de vie de ces espèces. La trame verte concerne les espèces terrestres et la trame bleue concerne les espèces aquatiques.

Sommaire

Remerciements	I
Liste des abréviations	II
Glossaire	III
Sommaire	V
Introduction	1
I Mise en contexte	5
<i>I.1 Compréhension du sujet</i>	5
I.1.1 Notre secteur d'étude : les réseaux de chauffage	5
I.1.2 La terminologie de la problématique.....	8
<i>I.2 Contexte français</i>	11
I.2.1 Chronologie de la législation.....	13
I.2.2 L'énergie et les outils de l'urbanisme	16
I.2.2.1 Plan Climat-Air-Énergie Territorial	16
I.2.2.2 Plan Local d'Urbanisme	18
I.2.2.3 Schéma Directeur des Énergies	19
I.2.3 L'approbation de la population	20
I.2.3.1 Concertation des habitants.....	20
I.2.3.2 Les coopératives citoyennes	21
<i>I.3 Conclusion de l'état des lieux</i>	23
II Les réseaux de chaleur	24
<i>II.1 Partie opérationnelle</i>	24
II.1.1 Principe général d'un réseau de chaleur	25
II.1.2 La chaleur.....	28
II.1.2.1 Les énergies renouvelables et de récupération	29
II.1.2.2 Les moyens de stockage	33
II.1.3 Viabilité d'un réseau	34
<i>II.2 Les aides administratives</i>	37
II.2.1 Outils législatifs	37
II.2.1.1 La réglementation thermique et les réseaux de chaleur	37
II.2.1.2 Les lois relatives aux réseaux de chaleur.....	38
II.2.2 Les aides.....	39
II.2.2.1 Fonds de chaleur.....	40
II.2.2.2 La TVA à taux réduit.....	40
II.2.2.3 Les aides des collectivités territoriales	40
II.2.2.4 Aides aux usagers	40
<i>II.3 Étude des réseaux de chaleur dans des projets de faible ampleur</i>	41
II.3.1 Analyse pondérée	41
II.3.2 Le mix énergétique d'un réseau de chaleur	42
II.3.3 Hypothèses de projet de faible ampleur	44
II.3.3.1 Mise en place d'un réseau de chaleur à proximité d'un réseau de gaz	46

II.3.3.2	Mise en place d'un réseau de chaleur à proximité d'une usine produisant de l'énergie de récupération	50
II.3.3.3	Mise en place d'un réseau de chaleur dont un des utilisateurs est un « gros consommateur »	53
II.3.3.4	Mise en place d'un réseau de chaleur dans un quartier résidentiel	55
II.3.4	Conclusion des scénarios	59
Conclusion.....		60
Bibliographie.....		62
Table des annexes.....		73
Liste des figures.....		87
Liste des tableaux.....		88

Introduction

L'aménagement des villes a connu différentes périodes qui ont influencé sa structure, son organisation, ses orientations et son image. Après-guerre, les villes ont dû se rebâtir d'urgence et le seul document pour les orienter était le RNU¹. Les destructions occasionnées par la guerre, la croissance du travail dans les villes et l'exode rural poussent les collectivités à construire rapidement sans prendre en compte l'environnement et sans avoir une réflexion importante sur l'emplacement des nouvelles habitations, afin de répondre à une demande de logement pressante. Les bâtiments édifiés à cette époque constituent ce que nous avons pu appeler les « grands ensembles », ils répondent au besoin de loger la population selon les normes de l'habitat de l'époque, mais en contrepartie se révéleront être des passoires thermiques.

Afin de répondre à l'évolution de ces besoins sociaux et sanitaires visant l'amélioration du bien-être de la population, les collectivités, avec leur département « urbanisme » peuvent s'appuyer sur des documents comme le SCoT² et le PLU³ pour donner des orientations définies et cohérentes à leur schéma d'aménagement territorial. Il s'agit de loger le plus grand nombre possible à moindre prix dans des collectifs tout en satisfaisant l'essor des constructions individuelles auxquelles aspire une part importante des habitants. La réflexion sur le renforcement des performances énergétiques conduit cependant à des réglementations fortement impactées par la solution individuelle.

Au fur et à mesure que le coût de l'énergie et le développement durable deviennent des paramètres essentiels, les réglementations thermiques⁴ s'enchaînent avec un durcissement progressif des contraintes et donc une amélioration des performances thermiques pour les bâtiments neufs à usage d'habitation. Des labels, des certifications sont également développés pour indiquer des repères aux fabricants de matériels et aux artisans poseurs. L'objectif visant l'amélioration, voire l'anticipation des futures réglementations thermiques.

¹ Règlement National de l'Urbanisation créé en 1955

² Instauré par la loi SRU du 13 décembre 2000, il a pour but de donner une cohérence aux projets territoriaux à l'échelle d'un groupement de communes dans les domaines de l'habitat, de la mobilité, d'aménagement commercial, d'environnement et de paysage.

³ PLU ou PLUI a été instauré par la loi SRU du 13 décembre 2000, il s'applique à l'échelle d'une commune ou d'une intercommunalité afin de planifier un projet d'aménagement en respectant les politiques d'urbanisme, d'habitat, de développement durable et de déplacements urbains

⁴ La première réglementation thermique ou RT date de 1974

Il faudra attendre les lois Grenelle⁵, pour obliger les villes à prendre en compte leurs trames vertes et bleues et définir des objectifs pour limiter la consommation de l'espace, en particulier dans les zones urbaines. Ces lois visent à favoriser les constructions neuves à énergie positive, c'est-à-dire mettre en place des bâtiments ayant une production énergétique supérieure à leur consommation. Elles permettent également de mieux prendre en compte les contraintes du changement climatique et les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans leurs documents. Ces lois ont été les prémices d'une nouvelle vision pour construire les villes, elles ont permis entre autres, l'émergence de nouveaux règlements thermiques favorisant les bâtiments positifs et permettant une réflexion sur le « construire ensemble ». Elles ont conduit à l'arrivée de nouvelles lois comme la loi LTECV⁶, qui impose de mieux prendre en compte les performances énergétiques d'un bâtiment et pose des objectifs pour réduire la consommation et promouvoir l'utilisation des sources d'énergie renouvelable.

La France accuse un retard par rapport aux objectifs fixés à l'horizon 2020 par la législation. Elle est également distancée par l'Allemagne, les Pays-Bas, la Hollande ou encore le Danemark dans ses projets aux performances énergétiques autosuffisantes. Ces pays ont réussi à développer bon nombre de quartiers favorisant le bien-être environnemental dans leur évolution urbaine. S'inspirant des orientations et solutions proposées par ces pays précurseurs, notre pays doit être plus volontaire dans la constitution et l'évolution d'un cadre législatif favorisant les performances énergétiques. Il doit en outre inciter davantage à l'émergence et à la multiplication de projets ayant ces finalités. C'est dans cette optique que notre réflexion s'est structurée. La problématique ainsi soulevée pourrait s'exprimer sous la forme de ce questionnement : « **Comment mutualiser les boucles énergétiques de chauffage au sein des projets d'aménagement de faible ampleur ?** ».

Le but est de trouver une réponse technique sur la mutualisation des réseaux dans des aménagements de faible ampleur, pour essayer de toucher un maximum de projets du territoire français. Nous devons donc rechercher une meilleure planification énergétique au sein de tout projet et mieux comprendre ce qui est réalisable. Selon l'ouvrage de l'AUDIAR : *La planification énergétique urbaine*⁷, la transition énergétique se fait par une collaboration entre les urbanistes et les énergéticiens pour aider les distributeurs d'énergie à anticiper le

⁵ Loi Grenelle I n° 2009-967 du 3 août 2009 et la Loi Grenelle II n°2010-788 du 12 juillet 2010

⁶ Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte n°2015-992 du 17 août 2015

⁷ AUDIAR, 2019. *La planification énergétique urbaine*. Tour d'horizon d'expériences territoriales innovantes et enseignements pour la métropole de rennais : [en ligne]. AUDIAR, 16 p.

développement urbain. Cet ouvrage souligne aussi que la planification énergétique est le point de rencontre de deux stratégies : la stratégie énergétique et la stratégie spatiale du territoire concerné.

Pour avancer dans la résolution de cette problématique, nous nous sommes intéressés aux réseaux pouvant être alimentés à l'aide d'énergie renouvelable, tels que le chauffage et l'électricité. Le support à la base de notre réflexion est l'ouvrage de l'OGE : *Comment concilier urbanisme et performance énergétique*,⁸ publié en avril 2020. Afin de compléter et de poursuivre la démarche évoquée dans l'ouvrage, nous nous sommes interrogés sur la mise en place des systèmes de chauffage et leur viabilité. Notre recherche a été basée sur la quête de réponses à des questions directrices comme :

- Comment consommer moins d'énergie ?
- Comment améliorer la sobriété énergétique d'un projet ?
- Comment peut-on mutualiser un système de chauffage ?
- Quelles sources d'énergie renouvelable et de récupération existe-t-il et sont-elles exploitables ?
- Comment intégrer plus d'énergie renouvelable et de récupération dans un réseau de chauffage ?
- Comment la réglementation ou l'État peut-il aider et soutenir des projets recherchant la meilleure performance énergétique possible ?
- Comment peut-on inciter les porteurs de projet à réaliser ce type de solution ?

Ce travail nous a permis de communiquer avec des entreprises liées à l'aménagement et à l'énergie, des bureaux d'études, des collectivités ou encore des associations. Nous avons remarqué que les politiques locales et l'appréciation des citoyens sont très importantes dans ce type de projet. Il importe donc d'échanger avec les différents interlocuteurs afin de mieux comprendre la motivation et la mise en place de ces projets à tous ces niveaux.

Pour analyser les éléments de réponses de nos diverses interrogations, nous avons fait le choix de décomposer notre réflexion en deux parties.

La première partie constitue une mise en contexte et un état des lieux, elle a pour but d'expliquer l'état général du territoire français par rapport à ses réseaux et elle définit plus

⁸ OGE, 2020. *Comment concilier urbanisme et performance énergétique*. Publi-Topex, 430 p.

précisément les termes de la problématique soulevée par rapport aux éléments mis en place actuellement.

La seconde concerne le réseau de chaleur, elle a pour vocation d'expliquer les systèmes mis en place afin d'aider au développement de ces réseaux, des sources renouvelables existantes dans ce domaine et permettre la mise en place opérationnelle pour des projets de faible ampleur.

Les réponses apportées à ce questionnement ont pour but de compléter la recherche et les données de l'ouvrage de l'OGE énoncé précédemment. Elles ont vocation à regrouper des connaissances, des outils, des documents, des aides et des techniques existants dans ce domaine. Les différentes informations récoltées pourront nous aider à accompagner les collectivités et les entreprises privées afin d'intégrer au mieux la transition énergétique dans leur projet d'aménagement.

I Mise en contexte

La définition de notre secteur d'étude, le chauffage, et de la terminologie de notre problématique sont essentielles pour apporter une analyse et une réponse à notre questionnement. Une fois ces définitions fixées, un état des lieux de la France vis-à-vis des outils règlementaires et urbanistiques en vigueur est nécessaire pour comprendre les points faibles et les points forts de leur compatibilité avec le domaine de l'énergie.

I.1 Compréhension du sujet

I.1.1 Notre secteur d'étude : les réseaux de chauffage

La thématique de notre recherche se centralise sur un réseau essentiel au confort de la population : le chauffage. Le but est de comprendre la raison de son importance, son mode de distribution, ainsi que sa représentation et son utilisation sur le territoire français.

Le chauffage est essentiel pour les bâtiments de tous les secteurs (résidentiel, tertiaire, industriel). Il permet lors de la période froide de réchauffer son intérieur afin d'améliorer le confort de ses occupants. La production de chaleur peut éventuellement servir à produire de l'eau chaude sanitaire. La fabrication de chaleur est réalisée selon deux systèmes :

- Le système dit « centralisé » : ce système est le plus répandu, les appareils affiliés à ce mode de chauffage sont les chaudières au fioul, bois, gaz ou propane. Il est composé de trois éléments :
 - Un générateur de chaleur
 - Un système de distribution permettant le transport de l'énergie
 - Des émetteurs pouvant restituer la chaleur aux usagers, tels que les radiateurs.
- Le système dit « décentralisé » : il produit de chaleur sur place. Ce type d'alimentation est souvent alimenté par des chauffages électriques, des poêles ou des cheminées indépendantes.

Dans le but de comprendre les différents modes de chauffage et leurs sources d'alimentation possible, l'ADEME a réalisé un schéma ⁹classant les modes de chauffage selon leur système et leurs sources.

⁹ L'annexe 1 montre le schéma de l'ADEME

Les réseaux de chaleur

La recherche de solutions de sobriété énergétique dirige les approches vers le chauffage vertueux. Un chauffage est dit vertueux quand l'énergie qui l'alimente est composée à plus de 50% par des énergies renouvelables ou de récupération. Parmi les modes de chauffage connus une installation nous semble pertinente à approfondir : le réseau de chaleur.

Ce mode de production de chaleur entre dans la catégorie des systèmes « centralisés ». Il permet de desservir plusieurs usagers, en chauffage ou en eau chaude sanitaire, par la distribution d'énergie calorifique sous forme d'eau chaude ou de vapeur à partir d'une seule unité de production. Ce système peut être alimenté par diverses sources d'énergie (fossiles, renouvelable ou récupération). L'intérêt de ce mode de chauffage pour notre recherche est son efficacité à raccorder de nombreux usagers à une ressource renouvelable ou de récupération. De plus, il fait partie des moyens de chauffage rejetant le moins de CO₂.

Le réseau de chaleur utilise un système de boucle fermée à double sens, départ et retour, pour la consommation de son énergie, comme le montre la figure 1 ci-contre. Le choix de la source d'alimentation de la chaudière se fait selon trois éléments :

- Le prix
- La disponibilité
- L'impact écologique

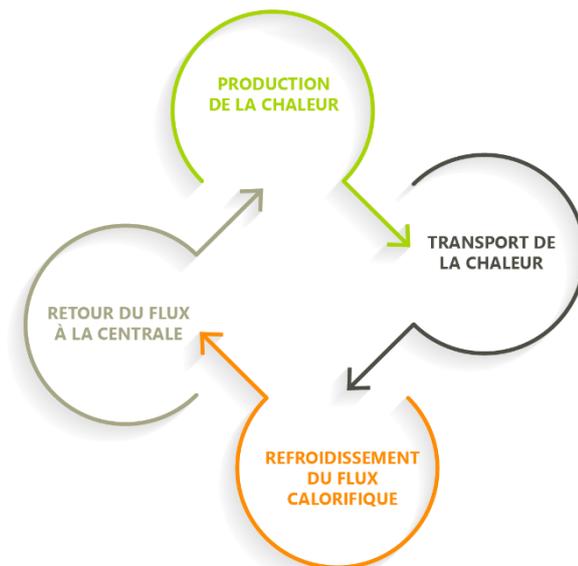


Figure 1 : Schéma du circuit de la chaleur dans un réseau de chaleur – Données : HERVÉ F., 2020 – Illustration : MONTMIREL C., 2020

Ce mode de distribution de la chaleur répond à l'un de nos enjeux qui est d'accroître la distribution d'énergie positive à la population, c'est-à-dire de distribuer au plus grand nombre de l'énergie renouvelable et de récupération. C'est la raison pour laquelle notre recherche se concentrera sur son fonctionnement et sa viabilité.

Le chauffage en chiffres

De manière générale, le chauffage représente 66% de la consommation énergétique d'un foyer tandis que la production d'eau chaude sanitaire en représente 11%. L'ADEME a réalisé un état des lieux en 2019¹⁰ affirmant qu'en 2017 la part de chauffage et de l'eau chaude sanitaire représentaient 42% de la consommation finale pour le secteur tertiaire/résidentiel.

Comme l'illustre la figure 2, la source de chauffage privilégié par les Français est le gaz. L'électricité est la deuxième source d'alimentation dans la production de chaleur. L'utilisation de cette énergie est une spécificité française. Elle est due à l'importante production nucléaire du pays depuis les années 1977. Le fioul se situe à la troisième place, mais son taux est en baisse grâce au déploiement des réseaux de gaz et des réseaux de chaleur.

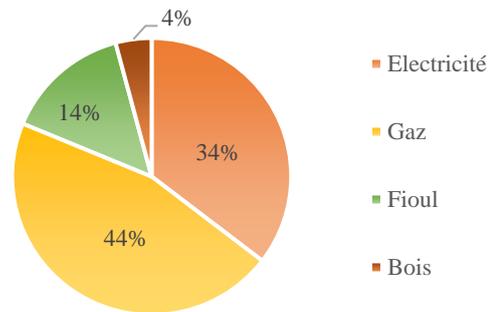


Figure 2 : Sources d'alimentation du chauffage en 2017 - Donnée : l'énergie tout compris, 2019 – Illustration HERVÉF, 2020

Les réseaux de chaleur sont apparus en France au XIXe siècle, mais ils se sont réellement développés dans les années 1980. En 2017, la France comptait environ 650 villes dotées d'au minimum un réseau de chaleur ou de froid. Au total, en 2017 la France comportait 761 réseaux de chaleur dont la longueur cumulée atteint 5 397km.

Selon l'ADEME, en 2017 la chaleur produite par ces réseaux provenait des sources d'énergies renouvelables et de récupération à 56%, essentiellement produite par la biomasse. Cependant, le gaz conserve une part importante dans le bouquet énergétique français, telle que l'illustre la figure 3.

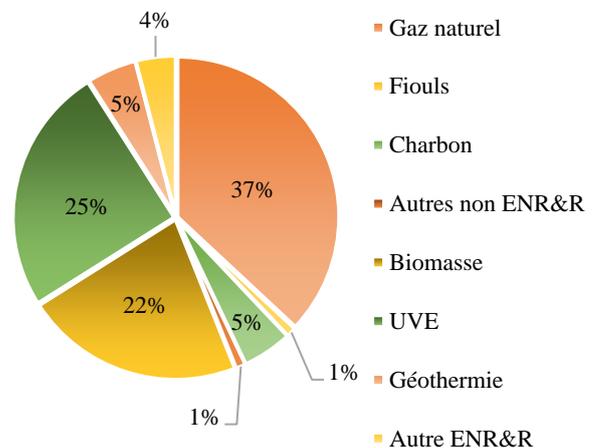


Figure 3 : Bouquet énergétique (en énergie entrante) - Données : SNCU, 2018 – Illustration : HERVÉ F., 2020

Depuis une dizaine d'années une progression dans le nombre de raccordements de réseaux de chaleur est visible, environ 10 000 bâtiments supplémentaires ont été raccordés en 10 ans. Néanmoins, ce nombre reste en retard par rapport au déploiement européen, car le taux

¹⁰ ADEME, 2019. *Les réseaux de chaleur et de froid : état des lieux de la filière* : [en ligne]. ADEME, 89 p

de raccordement tourne autour de 6% en France alors que celui de l'Union européenne est de 13%. Le déploiement français de ce réseau est encourageant, car malgré son retard de raccordement le mix énergétique français composant ce système est dans une démarche vertueuse. Cette composition vertueuse a permis d'éviter l'émission d'environ 3 millions de tonnes de CO₂.

Ce système prouve qu'en mutualisant la production de chaleur provenant « d'énergies vertes », il est possible de diminuer les émissions de CO₂ et d'améliorer les performances énergétiques des constructions alimentées par ce système.

I.1.2 La terminologie de la problématique

L'énoncé de notre problématique est le suivant : « La mutualisation des boucles énergétiques de chauffage au sein des projets d'aménagement de faible ampleur ». Elle implique que notre raisonnement doit envisager des réponses opérationnelles, afin de regrouper les besoins de chauffage, dans le but d'améliorer les performances énergétiques des projets. Pour trouver des réponses concrètes, il est essentiel de s'appropriier chaque terme et leur lien avec l'énergie.

Les performances énergétiques sont décrites par la directive européenne 2002/91/CE indiquant que la performance énergétique est « *la quantité d'énergie effectivement consommée ou estimée pour répondre aux différents besoins liés à une utilisation standardisée du bâtiment, ce qui peut inclure entre autres le chauffage, l'eau chaude, le système de refroidissement, la ventilation et l'éclairage* ». L'ouvrage de l'OGE¹¹ donne une description de ses performances comme étant le rapport entre la consommation d'énergie, le service rendu lié au confort thermique et le coût. Pour simplifier, un bâtiment avec une bonne performance énergétique possède un rapport performance/coût optimal.

La performance énergétique est liée à divers critères comme : le contexte climatique, l'environnement local, les matériaux, l'architecture des bâtiments et le système énergétique. Pour améliorer les performances énergétiques, il faut réussir à trouver une source d'énergie limitant les pertes d'énergie lors du transport et de la transformation de celle-ci. La recherche

¹¹ OGE, 2020. *Comment concilier urbanisme et performance énergétique*. Publi-Topex, 430 p

de limitation des pertes énergétiques doit guider notre raisonnement. Elle doit permettre de trouver des sources d'énergie positive et un système de distribution limitant leur dégradation.

La mutualisation des réseaux signifie le souhait de mettre en commun l'utilisation des réseaux. Cette expression conduit à deux orientations qui ont toutes deux un intérêt dans notre raisonnement.

Dans la première orientation, cette expression sous-entend la mise en commun des travaux. La mutualisation implique d'effectuer une seule opération dans l'intérêt de poser différents réseaux. Cette mise en commun permet en outre de réduire l'impact environnemental tout en réduisant les coûts financiers. Ces avantages proviennent de l'anticipation des travaux sur l'ensemble du projet, de la coordination des divers intervenants et de l'utilisation réduite des machines.

Dans la seconde orientation, la mutualisation des réseaux consiste à trouver une source d'énergie pouvant répondre aux besoins énergétiques d'un bâtiment ou d'un groupement de bâtiments. L'intérêt de ce système est de réduire le nombre de stations de production individuelle et les réseaux liés. La mutualisation des réseaux doit éviter de déployer en parallèle des réseaux proposant le même usage. Le but est de favoriser une énergie transmise par une canalisation à divers bâtiments pour répondre à différents besoins.

Une boucle énergétique est basée sur l'idée d'économie circulaire. Cette notion est apparue avec la LTECV et a été définie à l'article L.110-1-1 du code de l'environnement « *La transition vers une économie circulaire vise à dépasser le modèle économique linéaire consistant à extraire, fabriquer, consommer et jeter en appelant à une consommation sobre et responsable des ressources naturelles et des matières premières primaires ainsi que, par ordre de priorité, à la prévention de la production de déchets, notamment par le réemploi des produits, et, suivant la hiérarchie des modes de traitement des déchets, à une réutilisation, à un recyclage ou, à défaut, à une valorisation des déchets* ». L'ouvrage de l'OGE mentionné précédemment définit la boucle énergétique selon trois principes :

- Valorisation des déchets en tant que ressource
- Utilisation d'énergie renouvelable en alternative aux énergies fossiles
- Valorisation de la diversité des ressources en s'inspirant des écosystèmes naturels

L'intérêt de favoriser les boucles énergétiques est de réduire les déchets liés à notre consommation, d'optimiser les matériaux et de favoriser une consommation fonctionnelle et de récupération.

Afin d'appréhender la sobriété énergétique, il est nécessaire de comprendre la notion d'énergie vertueuse. Ainsi, la définition des énergies renouvelables et de récupération est essentielle.

Une énergie renouvelable est une énergie produite à partir de sources illimitées, à l'échelle du temps humain, provenant par exemple du soleil ou du vent. Elles sont appelées « énergies propres » ou « énergies vertes » dues à leur faible impact environnemental lors de leur exploitation. Les énergies renouvelables se répartissent selon cinq catégories :

- L'énergie solaire : comme son nom l'indique, cette énergie est issue des rayonnements solaires. Les rayons sont captés par des capteurs spécifiques pour en absorber l'énergie et la rediffuser selon deux modes de fonctionnement :
 - *Le solaire photovoltaïque* : utilisé pour la production d'électricité.
 - *Le solaire thermique* : permet la production de chauffage, de chauffe-eau solaire et d'électricité.
- L'énergie éolienne : elle est produite par l'énergie cinétique du vent alimentant un générateur qui produira de l'énergie. Il existe différents types d'éoliennes (terrestres, off-shore, flottantes ...), mais elles possèdent toutes le même principe de fonctionnement.
- L'énergie hydraulique : elle est produite par l'énergie cinétique de l'eau qui actionne des turbines pour générer de l'électricité.
- L'énergie du sol : elle est couramment appelée géothermie. Cette énergie provient soit de l'extraction et de la désintégration radioactive des atomes fissiles contenue dans les roches, soit des nappes de vapeur d'eau souterraines. Elle permet la production de chauffage et d'électricité. Son exploitation est indépendante des conditions atmosphériques, car elle se renouvelle grâce à la chaleur du magma. La géothermie se subdivise en trois catégories liées à sa température d'extraction :
 - *La géothermie profonde* : possède une profondeur avoisinant les 2 500 m. L'énergie extraite possède une température comprise entre 150 et 250°C. Cette géothermie permet la production d'électricité.
 - *La géothermie moyenne* : exploitée principalement dans les gisements d'eau avec une température entre 30 et 150°C, elle permet l'alimentation d'un réseau de chaleur.

- *La géothermie très basse énergie* : elle a une profondeur de 10 à 100 m et une température inférieure à 30°C, elle est utilisée pour alimenter des pompes à chaleur.
- La biomasse : a pour but de produire de l'énergie à partir de la combustion de matériaux d'origine biologique (ressources naturelles, déchets organiques ...). Les trois ressources principalement utilisées sont : le bois, le biogaz et le biocarburant.

En plus de ces cinq catégories d'énergies renouvelables, il existe **l'énergie de récupération**. Cette énergie est classée dans les « énergies propres ». Elle puise sa source énergétique dans la valorisation d'énergie perdue. Majoritairement, sa production provient de chaleur perdue lors de l'incinération des déchets, la chaleur des data centers ou industrielle.

Les projets de faible ampleur, désigne l'échelle des projets visés par notre réflexion. D'une manière générale, les réseaux de chaleur ou les boucles énergétiques sont étudiés dans des projets de grande envergure. Le souhait de cette recherche est de trouver des solutions proposant une sobriété énergétique maximum pour la majorité des projets. Des réponses existent déjà pour les aménagements de grande ampleur, cependant aucune réponse concrète n'a été proposée pour de plus petites opérations, telles que les projets de lotissement.

L'interprétation des divers termes permet d'appréhender les réponses attendues. Le but est de vérifier la viabilité et les possibilités de mutualisation des réseaux dans des projets d'aménagement à la sobriété énergétique reconnue. Ces réponses permettront d'aider des chefs de projet à envisager une approche plus vertueuse et anticipée des réseaux. Elles auront pour but de généraliser les énergies positives dans la consommation de chauffage des usagers.

I.2 Contexte français

Les réseaux de chaleur sont des réseaux publics qui appartiennent aux communes. Cependant, la possession d'un réseau public n'implique pas systématiquement l'exploitation de ce dernier. Détenir la possession signifie être le propriétaire du réseau, alors que disposer de l'exploitation de celui-ci signifie assurer l'alimentation et la gestion. Il existe deux modes de gestions possibles pour les réseaux publics :

- En régie : l'investissement et l'exploitation sont réalisés par la commune

- En délégation de service public (DSP) : la collectivité fait appel à un prestataire pour assurer la gestion. Il en existe de deux sortes :
 - *Affermage* : il est possible lorsque la structure publique finance les ouvrages, mais souhaite mettre à la disposition d'un fermier l'exploitation du réseau.
 - *Concession* : elle est possible lorsqu'une entreprise se charge de la réalisation, de l'entretien et de l'exploitation des ouvrages. La collectivité aide l'exploitant, appelé concessionnaire dans ce cas, grâce à des subventions.

	FINANCEMENT	RÉALISATION DES INVESTISSEMENTS	EXPLOITATION ET GESTION
RÉGIE	✓	✓	✓
AFFERMAGE	✓	✓	✓
CONCESSION	✓	✓	✓

✓ Collectivité ✓ Opérateur

Tableau 1 : Les intervenants selon le mode d'exploitation public – Donnée : ADEME, 2009 – Illustration : MONTMIREL C., 2020

Le tableau 1 permet d'identifier le rôle respectif des concessionnaires et des personnes publiques dans la gestion d'un réseau selon le type de gestion choisi.

Le mode de gestion des réseaux de chaleur est variable, dû aux nombreuses sources d'alimentation possibles. Cette multitude de solutions sur le plan de l'énergie implique une gestion adaptée au cas par cas. La figure 4 illustre les modes de gestion des réseaux de chaleur en 2017. Sur cette figure, la gestion majoritaire est la DSP à 40% contre 28% en régie. La figure 4 prouve que tous les réseaux de chaleur ne sont pas publics, car 21% appartiennent à des privés.

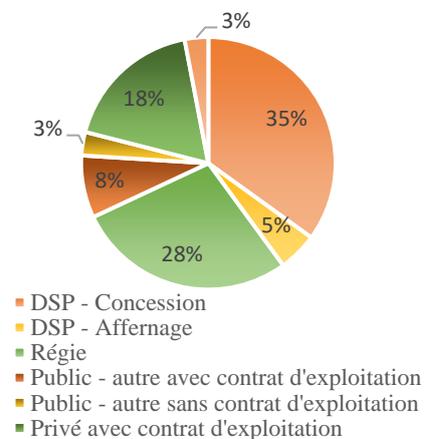


Figure 4 : Mode de gestion des réseaux de chaleur - Donnée : ADEME, 2017 – Illustration : HERVÉ F., 2020

Outre la gestion des réseaux, les personnes publiques ont un rôle à jouer dans la transition énergétique. Elles garantissent la qualité du service public et l'égalité de traitement pour les consommateurs. Toutefois, elles ont la responsabilité de mener à l'échelle locale la politique climat-air-énergie et veiller à son application optimum. Pour cela, elles peuvent agir sur la planification, le contrôle, l'accompagnement et la mise en œuvre des actions possibles sur un territoire. La législation, la création de documents et les projets territoriaux sont ses principales sources d'application. Afin de créer et appliquer ses outils d'aménagement les

personnes publiques sont présentes à différents échelons territoriaux (État, région, département, commune), il est intéressant de comprendre le rôle et l'impact de ces diverses collectivités dans la transition énergétique¹².

Les personnes publiques doivent maîtriser les enjeux économiques et environnementaux de leur territoire, afin de pouvoir les conformer à la réglementation. L'échange avec les différents acteurs composant ce territoire est essentiel pour construire une ligne directrice cohérente. Cet échange permet aux personnes publiques de prendre en compte les attentes de leur population afin d'adopter une politique favorable au territoire et à sa population.

Favoriser les projets vertueux en énergie et améliorer leur politique dans le domaine des performances énergétiques supposent de connaître les outils réglementaires et techniques des acteurs publics.

I.2.1 Chronologie de la législation

L'évolution de la réglementation permet une montée en puissance progressive des exigences en matière de performance énergétique. Ces exigences réduiront les émissions de GES. La réglementation examine progressivement les secteurs de l'énergie, son impact sur le développement durable et sur la recherche de sobriété. Cette prise en compte progressive a permis la création du Code de l'énergie en 2011. Il est issu des nombreuses réglementations thermiques qui ont progressé au cours des années, mais également par l'émergence de lois prônant la performance énergétique et l'utilisation d'énergies renouvelables et de récupération.

Afin d'évoluer, les diverses réglementations thermiques se sont inspirées des certifications et labels souvent plus restrictifs, tel que le label HPE, le certificat HQE, le label BBC, le label écoquartier ou encore le label Bepos effinergie¹³.

¹² L'annexe 2 est extraite des documents de l'ADEUS et indique le rôle des personnes publiques liées à la transition énergétique

¹³ Les divers labels, certifications, RT et lois cités sont plus détaillés dans l'ouvrage : OGE, 2020. *Comment concilier urbanisme et performance énergétique*. Publi-Topex, 430 p.

La figure 5 a pour vocation d'expliquer brièvement les diverses réglementations thermiques qui ont forgé notre manière de construire les bâtiments et par conséquent des villes.



Figure 5 : Définition des RT - Donnée : HERVÉ F., 2020 – Illustration : MONTMIREL C., 2020

Une nouvelle réglementation thermique a été annoncée pour 2020 qui s'appellera réglementation environnementale 2020 (RE 2020). Elle aura pour ambition de lutter contre le changement climatique grâce à de nouvelles exigences thermiques, énergétiques et objectives pour les bâtiments neufs.

Outre les dernières réglementations thermiques, la législation française a également évolué au cours des années. Une loi a permis de mettre en avant les énergies renouvelables et les performances énergétiques, la Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) de 2015. Cette loi touche plusieurs domaines : l'économie, le transport, le bâtiment et les énergies renouvelables. Elle a pour intérêt de faciliter l'isolation thermique des bâtiments existants, grâce à certaines dérogations aux règles d'urbanisme, et de proposer une rénovation décennale des bâtiments existants à l'usage du tertiaire ou d'un service public. L'objectif de cette loi incite à la cohérence énergétique, avec des textes tels que le plan national de valorisation des énergies fatales et de récupération ou le schéma directeur des réseaux.

La LTECV souhaite que les énergies renouvelables et de récupération soient mieux prises en compte dans les documents d'urbanisme, notamment vis-à-vis des réseaux de chaleur. Afin de réussir à mettre en place ses orientations, cette loi définit différents objectifs :

- Réduire d'ici 2030 les émissions de GES de 40% par rapport à 1950
- Réduire pour 2030 la consommation d'énergie fossile de 30% par rapport à 2012.
- Réduire à 50% la part de l'électricité nucléaire d'ici 2025
- Augmenter la part des énergies renouvelables, dans la consommation finale, à 32% et à 40% pour la production d'électricité
- Diminuer de 50% la part de l'énergie finale de 2012 d'ici 2050, notamment grâce à la rénovation
- Multiplier par 5 la quantité de chaleur et de froid renouvelables et de récupération livrée par des réseaux de chaleur et de froid d'ici 2030

Ces éléments législatifs ont défini des objectifs sur le long terme pour les réseaux de chaleur et les réseaux électriques. Le tableau 2 les regroupe selon leurs champs d'application.

Objectifs des réseaux de chaleur
<u>2020</u> : * Augmenter le nombre de réseaux de chaleur dans les logements et le tertiaire
<u>2023</u> : * La livraison de chaleur renouvelable doit augmenter de 74% par rapport à 2017
<u>2028</u> : * L'objectif de 2023 doit être doublé
<u>2030</u> : * Multiplier par cinq la quantité de chaleur renouvelable et de récupération par rapport à 2012

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des objectifs vis-à-vis des réseaux de chaleur - Source : HERVÉ F., 2020

I.2.2 L'énergie et les outils de l'urbanisme

Le but est de généraliser la sobriété et participer à l'amélioration des performances énergétiques dans des projets de faible ampleur. Afin de toucher le maximum de projets possible, il est important que les outils de l'urbanisme proposent des directives énergétiques. Les outils d'urbanisme sont des outils de planification des aménagements. Ils permettent de réaliser un état des lieux du territoire au moment de leur rédaction et d'établir des perspectives d'évolution du territoire, grâce aux directives et contraintes qu'ils imposent.

Ces outils sont intéressants, car ils s'appliquent à l'échelle d'un territoire variable, pouvant aller de l'échelle régionale à l'échelle d'un quartier. Cette échelle variable est possible grâce à la hiérarchie de ces différents outils¹⁴. En effet, ces outils encadrent des projets de développement avec des enjeux à une échelle donnée et s'articulent afin d'assurer une complémentarité entre eux. Le document donnant les premières lignes directrices des aménagements est le SCoT.

Très peu de ces outils de planification sont centrés sur l'énergie. Cependant, trois outils permettent d'attirer l'attention sur le domaine de l'énergie : le Plan Climat-Air-Energie, le Plan local d'urbanisme et le Schéma directeur de l'énergie.

I.2.2.1 Plan Climat-Air-Énergie Territorial

Le Plan Climat-Air-Énergie Territorial (PCAET) est un document à la fois stratégique et opérationnel pour les projets territoriaux de développement durable. Il est l'adaptation locale des accords sur le climat adoptés au niveau international. Son contenu contient un volet « énergie » très important, mais son application concerne également les émissions de gaz à effet de serre (GES) non énergétiques, ainsi que le traitement de la qualité de l'air. La mise en place du PCAET est à la charge des EPCI de plus de 20 000 habitants, pour une durée de six ans.

L'intérêt du PCAET est de concerter, à l'échelle d'une intercommunalité, tous les acteurs impliqués ou mobilisés dans des projets de développement durable. L'adoption de la LTECV a renforcé le rôle des intercommunalités dans l'engagement vers la transition écologique grâce à ses axes d'actions, tels que :

- La réduction des émissions de GES
- L'adaptation au changement climatique

¹⁴ L'annexe 3 illustre la hiérarchie des outils de planifications.

- La sobriété énergétique
- La qualité de l'air
- Le développement des énergies renouvelables

Les enjeux principaux de ses actions concernent la diminution des émissions de GES et la décarbonisation de la consommation énergétique. Pour respecter ses ambitions, chacun des axes d'action doit respecter les objectifs suivant :

- La baisse des émissions GES
- L'amélioration des solutions de stockage du carbone dans la végétation, les sols et les bâtiments
- Une meilleure maîtrise de la consommation finale d'énergie
- L'utilisation d'énergie renouvelable dans la production et la consommation
- L'amélioration de la livraison d'énergie renouvelable et de récupération par les réseaux de chaleur
- L'augmentation des sources locale et respectueuse de l'environnement pour l'usage autre qu'alimentaire
- L'amélioration de la coordination des réseaux énergétiques

Dans ce sens, les ambitions nationales et régionales souhaitent développer des réseaux de chaleur et de froid, ainsi que d'optimiser les réseaux de distribution d'électricité, de gaz et de chaleur. En ce sens, le PCAET est une opportunité pour le développement des énergies renouvelables et de récupération, dans la production et la distribution d'énergie.

La création du plan climat passe par cinq étapes¹⁵ : préparation interne, réalisation du diagnostic, élaboration d'une stratégie, réflexion et mise en place du programme, ainsi que l'évaluation du PCAET. Bien que l'ensemble des intercommunalités n'ait pas besoin de recourir à la mise en place d'un PCAET, elles peuvent s'inspirer des orientations de ce plan pour améliorer les outils d'urbanisme dans la compétence « énergie ».

La combinaison du SCoT et du PCAET permet d'identifier les enjeux énergétiques à l'échelle d'un territoire et fixe les objectifs que le PLU doit prendre en compte.

¹⁵ L'annexe 4 présente le schéma de l'ADEME : ADEME, 2016. *PCAET : comprendre, construire et mettre en œuvre* : [en ligne]. ADEME, 87 p.

I.2.2.2 Plan Local d'Urbanisme

Le plan local d'urbanisme (PLU) est un document d'urbanisme à l'échelle communale. Sa mise en place est obligatoire et est réalisée par les collectivités. Il porte le nom de PLUI, pour intercommunalité, lorsqu'il est édité par un groupement de communes ou un EPCI. Le PLU comprend : un rapport de présentation, un projet d'aménagement et de développement durable (PADD), des orientations d'aménagement et de programmation (OAP), un règlement graphique, et un règlement écrit définissant les règles directrices de l'urbanisme s'articulant autour de trois thèmes¹⁶ :

- Destination des constructions, usages des sols et nature d'activités
- Caractéristique urbaine, architecturale, environnementale et paysagère
- Equipements et réseaux

Le PLU fixe des règles de droit de sol afin de permettre un développement équilibré du territoire. Ces règles s'adressent à tous les usagers du territoire, particuliers comme entreprises. L'objectif est de structurer et harmoniser les projets d'aménagement par l'imposition d'un cadre règlementaire. Cependant, le domaine de l'énergie est peu présent dans le PLU. La notion énergétique peut être abordée dans la partie « Caractéristique urbaine, architecturale, environnementale et paysagère », grâce aux indications de traitement environnemental et paysager des espaces non bâtis et des abords des constructions. La présence d'un PCAET oblige le PLU à étudier la question de l'énergie. Cette articulation entre documents de planification permet de convenir plus efficacement d'une politique énergétique et de la définir techniquement dans l'urbanisme. Comme par exemple : en favorisant la mixité fonctionnelle et la possibilité d'installation de panneaux solaires ou en intégrant aux PADD des préconisations favorables aux énergies renouvelables et aux réseaux de chaleur. Mais les collectivités n'ayant pas l'obligation de s'y conformer au domaine de l'énergie intègrent rarement ces notions dans leur PLU. Dans le but de combler le manque de directives à ce sujet, divers acteurs de l'urbanisme, de l'aménagement et de l'énergie se sont interrogés sur des axes¹⁷ à développer dans la rédaction des PLU. Ces nouveaux axes donneraient les grandes lignes sur l'orientation énergétique du territoire et proposeraient une cartographie des réseaux et des sources d'énergie positive locale permettant de mettre en évidence des zones d'installation ou d'extension prioritaires.

¹⁶ Les trois thèmes sont issus de la nomenclature nationale reprenant les thèmes de loi ALUR.

¹⁷ L'annexe 5 est tirée des documents de l'ADEUS et est complétée avec l'avis de certains acteurs avec lesquels nous avons échangé afin de proposer des axes de développement des énergies dans le PLU(i)

I.2.2.3 Schéma Directeur des Énergies

Le schéma directeur des énergies (SDE) est un document ayant pour vocation l'optimisation de la planification, de l'urbanisme et du mix énergétique du territoire. Cet outil a pour but de favoriser la coopération et la mobilisation des acteurs liés aux enjeux de la transition énergétique. Le SDE n'est pas un document obligatoire, sa création est libre et propre à chaque intercommunalité.

Cependant, depuis 2015 il a été observé une augmentation et une diversité des acteurs porteurs de ce schéma directeur. Les collectivités favorisent la mise en place de ce schéma, car son élaboration permet la mise en œuvre d'une stratégie énergétique locale et opérationnelle. L'absence d'obligation réglementaire permet son adaptation à toute échelle du territoire. L'engouement des collectivités pour le SDE peut s'expliquer par l'adoption de la Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV), favorable à son élaboration.

Le schéma directeur des énergies ne possède actuellement aucune ligne directrice à son élaboration. Afin de pallier ce manque et d'encourager l'utilisation de ce schéma, l'ADEME et GRDF ont créé en janvier 2020 un guide¹⁸ pour guider les communes lors de l'écriture de leur SDE. Ce guide définit les étapes et les questionnements à chaque phase du SDE (préfiguration, diagnostic, stratégie et mise en œuvre). Il oriente les acteurs et aide à la mise en place de scénarios et d'outils afin de mesurer les impacts et les potentialités du territoire.

Le déploiement de ce schéma doit être incité auprès des collectivités. Sa présence participe à l'élaboration d'une vision globale des sources énergétiques présentes sur le territoire. Il permet également de décider d'une stratégie d'utilisation et d'évolution des énergies et des réseaux. De plus, la mise en place d'un cadre directeur est un avantage dans la mesure où la rédaction d'un cadre officiel pour ce schéma participe à structurer les démarches, donne une valorisation au SDE et permet une meilleure communication sur ce schéma.

¹⁸ ADEME et GRDF, 2020. *Schéma directeur des énergies*. ADEME et GRDF. 64P

I.2.3 L’approbation de la population

Les projets publics demandent l’interaction de divers acteurs du territoire : les élus, représentants des collectivités, les partenaires institutionnels, les acteurs économiques, les associations et les habitants. Ces derniers sont un soutien sous-estimé pour la transition énergétique. Sans la participation, l’implication et l’échange avec la population, les collectivités ne pourraient pas mettre en œuvre certains projets. La population joue un rôle majeur dans la transition énergétique en exécutant les bons gestes et en participant aux projets vertueux.

I.2.3.1 Concertation des habitants

Les collectivités peuvent entreprendre des projets vertueux, mais elles doivent effectuer des concertations permettant d’associer les acteurs du territoire, les experts et les citoyens à échanger le plus en amont possible sur le projet. La participation des habitants dans ces concertations impacte indirectement la viabilité de l’opération. En effet, la concertation de la population pour les énergies vertes et la sobriété énergétique doit être mise en œuvre le plus en amont possible, en réalisant des animations et des séances de sensibilisation afin de favoriser la mobilisation des citoyens dans le projet.

La première phase importante de la communication entre la collectivité et ses citoyens est d’échanger sur les interrogations et inquiétudes des futurs potentiels usagers. Cet échange permet aux particuliers, généralement non-spécialistes dans le domaine énergétique, de connaître et d’appréhender les réseaux non conventionnels actuellement (réseaux de chaleur, boucles énergétiques). L’échange permet également d’envisager les questions financières, d’échanger sur les aides possibles ou la manière dont sont facturées les énergies renouvelables ou de récupération.

Une seconde phase de communication essentielle entre les utilisateurs et la collectivité est d’instruire les bons gestes de consommation aux usagers. Cette phase est importante afin d’optimiser la source exploitée totalement avantageuse. La collectivité doit être présente et accompagner sa population à adopter les réflexes moins énergivores afin de les aider à réduire leur consommation.

Certes, la population n’a pas de pouvoir décisionnel sur la finalité du projet, mais son adhésion est un atout majeur dans le cadre des aménagements énergétiquement vertueux.

I.2.3.2 Les coopératives citoyennes

L'initiative de projets vertueux peut parfois être initiée des citoyens. Afin de faire aboutir la réalisation d'un projet de chauffage urbain, les citoyens se regroupent dans des coopératives, généralement appelées « coopérative citoyenne » ou « association participative ». Une coopérative citoyenne a pour but de créer des projets privés mutuels dans l'intérêt de les rendre économiquement et financièrement viables. Dans le domaine énergétique, ces coopérations ont souvent le but de créer des unités de production d'énergie indépendante et écologique. Les participants de ces coopératives peuvent être des particuliers, des entreprises ou même la collectivité. Leur spécificité est leur proximité géographique avec la localisation des installations.

Les coopératives permettent à l'initiative citoyenne de s'investir et de contribuer à la transition énergétique d'un territoire. L'investissement financier et personnel des participants permet une implication qui interagit directement sur leur mode d'utilisation. De manière générale, ils sont plus vigilants et adoptent plus facilement les gestes réduisant la consommation.

Ces projets privés, ayant pour vocation d'améliorer l'impact écologique et énergétique, peuvent rentrer en synergie vertueuse avec des projets politiques émanant des collectivités locales. Pour illustrer cette possibilité de collaboration fructueuse, la collectivité Le Mené peut être prise en exemple. Elle est l'une des premières collectivités bretonnes à avoir mis en place un parc éolien citoyen. Cette communauté de communes a la particularité d'accueillir le plus grand abattoir de France : l'abattoir Kermené à Saint-Jacut-du-Mené. La motivation de la population à l'initiative de ce projet éolien a été décrite comme une envie « de ne pas laisser le territoire mourir » et « de proposer des projets innovants pour attirer et sortir du lot ». Cette motivation citoyenne a permis la création du parc éolien à Saint-Gouëno. Depuis, d'autres parcs participatifs ont été réalisés sur l'ensemble de la collectivité. La rencontre de ces initiatives citoyennes et des volontés politiques locales a largement dynamisé la production énergétique locale. Aujourd'hui, la collectivité propose des projets ambitieux dans le but de rendre son territoire le plus autonome et vertueux possible. Par exemple, la collectivité dispose à ce jour de quatre réseaux de chaleur, de plateforme de stockage et séchage collectif, de panneaux photovoltaïques sur certains de ses bâtiments publics et d'une usine de méthanisation.

Selon les chiffres de l'ADEME, en 2015 la France comptait 165 projets participatifs favorisant le déploiement des énergies renouvelables sur le territoire. L'initiative de ces projets

provenait du secteur privé à 12% et du secteur public à 78%. Le nombre de projets publics souligne l'intérêt des collectivités à être soutenues et aidées par ses acteurs locaux.

Aujourd'hui, le mouvement citoyen national « Énergie partagée » soutient 277 projets participatifs pour le déploiement des énergies. La répartition de ces projets est visible sur la figure 6.



Figure 6 : Projets de production d'énergies renouvelables citoyennes – Source : Énergie Partagée, 2020

Ces chiffres illustrent l'engouement croissant des Français pour le déploiement des énergies vertes. Les projets vertueux sont complexes à mettre en place et peuvent être onéreux, le soutien de la population peut être un atout pour surmonter ces difficultés. Les échanges entre les acteurs du territoire sont une des clés pour généraliser la sobriété des réseaux et l'amélioration des performances énergétiques.

I.3 Conclusion de l'état des lieux

La France intègre la nécessité de changer ses habitudes au niveau de la production et de la distribution de l'énergie, ne serait-ce que dans l'optique de répondre aux exigences européennes dans le déploiement du développement durable et de l'utilisation des sources locales d'énergie. Elle peut s'inspirer des procédures et des innovations techniques des pays européens « nordiques » leaders dans ce domaine. Par exemple, 80% des habitations au Danemark sont raccordées à des énergies renouvelables depuis les années 1980-1990. Le Danemark s'est doté d'un système de taxation favorisant le déploiement des sources d'énergie renouvelable et interdisant l'usage de chauffage électrique pour les habitations individuelles.

Afin de nous aider à comprendre les diverses approches vertueuses, notre réflexion s'est largement appuyée sur l'ouvrage de l'OGE (2020), *Comment concilier urbanisme et performance énergétique*, dont l'objet est de partager la « culture de l'énergie » de manière pédagogique et d'en démontrer son importance dans les politiques locales. L'ouvrage invite les concepteurs à être attentifs à la thématique de la sobriété énergétique en amont de la réalisation des opérations d'aménagement. Il présente les différentes réglementations et certifications de ce domaine. À partir de l'analyse de la prise en compte de la problématique énergétique dans des opérations de différentes tailles, il propose une approche méthodologique de la conception des opérations d'aménagement, quelle que soit leur typologie ou leur ampleur.

L'ensemble de ces informations nous incite à bien prendre en compte la communication et le partage des informations entre les divers acteurs d'une opération d'aménagement. La réussite de nos voisins européens dans le domaine des performances énergétiques, l'évolution des réglementations thermiques, particulièrement la loi relative à la transition énergétique (LTECV), nous encourage à prendre plus régulièrement en compte des solutions alternatives dans la production et la distribution énergétiques, notamment vis-à-vis du chauffage et de l'électricité. La réussite de ces projets est possible en s'interrogeant en amont du projet sur les sources d'alimentation et les solutions alternatives possibles.

Notre réflexion a pour but de rechercher des solutions permettant la mutualisation et la généralisation des aménagements nécessités par la sobriété énergétique. Ce cadre rejoint nos deux axes de recherche : le réseau de chaleur et la boucle énergétique.

II Les réseaux de chaleur

Pour rappel, un réseau de chaleur est un système centralisé produisant de l'énergie calorifique, eau chaude ou vapeur, permettant de distribuer à plusieurs usagers de la chaleur afin de répondre aux besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire. Ce réseau est fréquemment appelé « chauffage urbain », en raison de son fort développement dans les centres urbains.

Ces réalisations sont un point de rencontre entre le souhait de la politique locale et l'urbanisation du territoire. En effet, leur mise en place dépend de l'orientation politique de la collectivité, notamment vis-à-vis de l'augmentation de l'utilisation « des énergies vertes ». De plus, la présence de ces réseaux aura un impact direct sur la densité des constructions et sur l'architecture des villes. Leur déploiement est un outil puissant pour généraliser l'utilisation des énergies renouvelables et répondre aux objectifs fixés par la législation, notamment ceux de la Loi relative à Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV).

Afin de comprendre comment la présence d'un tel système influence les performances énergétiques et participe à la mutualisation du transport de chaleur, il est essentiel de comprendre son fonctionnement et les outils administratifs facilitant sa mise en place.

II.1 Partie opérationnelle

La mise en place d'un réseau de chaleur est principalement initiée par les collectivités territoriales, même si leurs créations peuvent parfois provenir d'une initiative privée, comme le montre la figure 7.

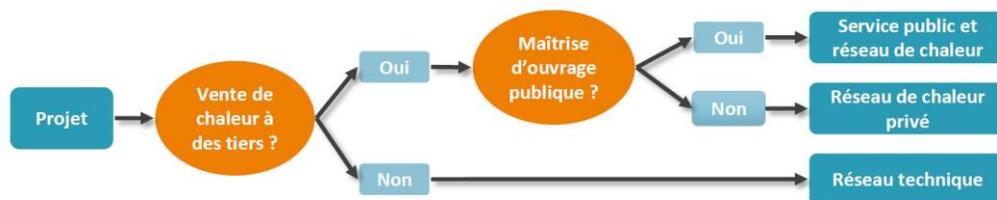


Figure 7 : Catégories des réseaux de chaleur - Source : CEREMA Ouest, 2018

L'initiative d'un projet de chauffage urbain lie différentes compétences et divers acteurs provenant des domaines de l'énergie et de l'aménagement. Il est nécessaire que ces divers acteurs communiquent entre eux le plus en amont possible afin de vérifier la viabilité de la création, l'extension ou la densification d'un réseau de chaleur. Cette prise en compte permettra d'envisager l'impact des spécificités techniques du projet sur l'organisation de l'espace du projet. L'interrogation et la considération en amont d'un éventuel réseau de chaleur participent

à anticiper la réflexion des différents réseaux et un regroupement de leurs frais des travaux, notamment ceux de la voirie.

D'un point de vue technique, le réseau de chaleur est un système centralisé pouvant être alimenté aussi bien par des énergies fossiles que par des énergies renouvelables ou de récupération. Pour accroître les performances énergétiques, le développement de ces réseaux permettrait à une plus grande part de la population d'être chauffée par les énergies positives. Le déploiement de ce système de chauffage permet de concilier au maximum service de proximité, sécurité et prix stable et compétitif.

II.1.1 Principe général d'un réseau de chaleur

Le chauffage urbain demande l'intervention de divers acteurs :

- La collectivité : le rôle des collectivités dans cet aménagement est d'organiser le service public et de veiller au bon fonctionnement et à la bonne gestion de celui-ci.
- L'opérateur : l'opérateur est le gestionnaire du réseau. Il est responsable de la bonne exécution du service.
- Le gestionnaire du bâtiment : le rôle du gestionnaire du bâtiment est de représenter les usagers auprès de l'opérateur. Il a pour fonction d'organiser la circulation des informations entre eux. Le gestionnaire de bâtiment est responsable du réseau secondaire.
- L'utilisateur : le rôle de l'utilisateur est de consommer la chaleur.

Chacun des acteurs intervient successivement dans la chaîne de la chaleur. Leur intervention est liée aux trois étapes de ce réseau : la production, la distribution et la livraison de chaleur.

La première étape est **la production**. Elle permet la transformation d'une source d'énergie, fossile ou renouvelable, en chaleur. La production de chaleur de ce système transforme la source énergétique en fluide caloporteur. Le lieu de la transformation est appelé chaufferie ou unité de production.

La seconde étape est **la distribution**. Le fluide caloporteur est acheminé par le biais de canalisations jusqu'aux bâtiments à chauffer. Ce « réseau de distribution » également nommé réseau primaire possède un circuit fermé à double sens qui permet de rediriger le fluide refroidi vers la chaufferie.

La troisième étape est **la livraison**. Elle constitue la livraison du fluide de l'entrée du bâtiment à l'utilisateur par le réseau de livraison, également nommé réseau secondaire. La jonction entre le réseau de distribution et le réseau de livraison est possible grâce à une sous-station.

Le fonctionnement de ces principes s'articule autour d'un circuit technique¹⁹ composé de 4 éléments :

- Une unité de production d'énergie : l'unité de production permet la transformation de la source d'énergie en chaleur. La chaleur produite donne un fluide caloporteur, prenant la forme de vapeur d'eau ou d'eau chaude. Les sources d'énergie peuvent provenir des énergies fossiles, renouvelables ou de récupération. Afin d'assurer une sécurité du circuit en cas de panne, une station d'appoint est également installée dans la chaufferie. Ce système doit assurer la production de chaleur par une source alternative à celle de la chaudière principale. Généralement, la source du système d'appoint est le gaz.
- Un réseau de distribution primaire : le réseau de ce système est composé d'un réseau de distribution en circuit fermé à double sens (aller et retour) permettant au fluide d'être distribué et redirigé vers la chaufferie. Le principal matériau utilisé pour les canalisations est l'acier, mais parfois le polyéthylène ou la fibre de verre peuvent être utilisés. Le diamètre de celles-ci dépend des besoins et de la densité des bâtiments raccordés. Le diamètre peut varier entre 25mm et 1 000mm. Le fluide et sa température donnent les caractéristiques des canalisations :
 - *Réseau vapeur* : ce réseau utilise le fluide caloporteur sous forme de vapeur, dont la température est comprise entre 200°C et 300°C. Sa particularité technique provient du diamètre de sa canalisation « aller » qui est supérieur à celle de sa canalisation retour. La mise en place de ce système est préconisée dans le cas de production de chaleur industrielle.
 - *Réseau d'eau surchauffée* : ce réseau utilise de l'eau dite surchauffée, dont la température est comprise entre 110°C et 180°C. Elle est utilisée pour les réseaux de grande envergure comportant des bâtiments ayant besoin de température élevée, comme les laveries.

¹⁹ L'annexe 6 représente un schéma technique détaillant les divers éléments d'un réseau urbain.

- *Réseau d'eau chaude* : ce système utilise de l'eau chaude possédant une température comprise entre 60°C et 110°C. Ce système alimente généralement les habitations et les bureaux.
 - *Réseau d'eau très basse température* : ce réseau est alimenté par un fluide caloporteur d'eau dont la température est inférieure à 30°C. La canalisation transporte l'eau à basse température jusqu'à une sous-station équipée d'une pompe à chaleur géothermique permettant de rehausser la température pour le réseau secondaire. Ce système est également appelé « boucle d'eau tempérée », il est utilisé pour les habitations et les bureaux.
- Des stations d'échange : les stations d'échange sont également nommées sous-stations. La sous-station est la séparation physique entre le réseau primaire et secondaire. Elle représente également la fin d'implication du service public et le début d'implication du gestionnaire du bâtiment dans le réseau. Le rôle de la sous-station est de répartir le fluide caloporteur dans le réseau secondaire afin d'alimenter en chaleur le chauffage et l'eau chaude sanitaire des bâtiments. Une sous-station est composée de :
- *Un échangeur thermique*, permettant de transférer la chaleur entre les deux réseaux.
 - *Un compteur de chaleur*, permettant de connaître la consommation d'énergie du bâtiment desservit.
- Un réseau secondaire : la chaleur distribuée par ce réseau alimente les usagers afin de répondre à leurs besoins.

Le code de l'environnement²⁰ classe le chauffage urbain comme un réseau sensible. Afin de compléter ce code, le fascicule 2 du guide technique des travaux définit les règles techniques à respecter lors de la mise en place des canalisations :

1. Les deux canalisations doivent être posées parallèlement et à une distance minimum de 20 cm des autres réseaux, par rapport à la génératrice supérieure.
2. La canalisation doit être recouverte d'un isolant afin de limiter les déperditions thermiques lors du transport du fluide.
3. La profondeur minimum²¹ pour la pose de ce réseau est de 40 cm.

²⁰ Article 554-2 du code de l'environnement

²¹ Cette profondeur est dictée par l'article 7-I de l'arrêté du 8 août 2013 réglementé de la sécurité des canalisations de transport de vapeur d'eau ou d'eau surchauffée.

4. La pose du grillage avertisseur pour un chauffage urbain est de couleur violette et se pose à 30 cm au-dessus du réseau.
5. La qualité des protections du chauffage urbain définit son intégrité. Leurs présences ont pour but d'assurer « l'armure » du réseau par des constructions, par exemple grâce à une enveloppe, un caniveau ou un calorifuge²².

Ces diverses recommandations s'appliquent principalement aux canalisations enterrées. La figure 8 représente la pose d'un réseau de chaleur dans une tranchée en respectant les règles citées ci-dessus. Cependant, il est possible de réaliser un réseau de chaleur par la mise en place de canalisations aériennes. Cette pratique est peu courante, car elle pose davantage de problèmes liés aux pertes thermiques du réseau. Elle est principalement utilisée quand l'espace sous voirie ou l'espace vert est limité.

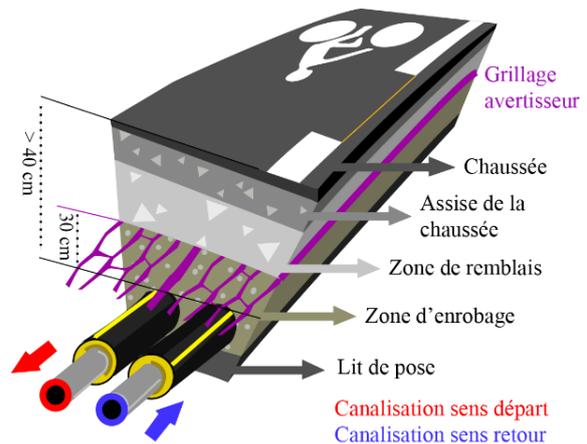


Figure 8 : Coupe de principe d'un réseau de chaleur –
Illustration : HERVÉ F. & MOREAU C., 2020

II.1.2 La chaleur

La chaleur peut être produite par diverses sources d'énergie, conventionnelle ou renouvelable. Dans le cadre du déploiement de projets de quartiers prônant la sobriété énergétique, il est impératif de connaître les énergies renouvelables ou de récupération permettant le fonctionnement d'un réseau de chaleur. En outre, certaines sources produisent un surplus de chaleur, il faut alors envisager les possibilités de stockage afin de limiter les pertes et la surproduction.

²² Élément empêchant la déperdition de chaleur grâce à ses propriétés isolantes.

II.1.2.1 Les énergies renouvelables et de récupération

Le critère favorisant la mise en place d'un réseau de chaleur est son utilisation préférentielle des énergies renouvelables et de récupération. Lorsque le taux d'énergie renouvelable ou de récupération atteint plus de 50%, le réseau est considéré comme « vertueux ». Contrairement aux idées reçues, l'utilisation exclusive des énergies positives n'est pas forcément la solution la plus viable économiquement et écologiquement. Le mix énergétique du réseau peut provenir de diverses sources comme l'illustre l'exemple de la figure 9. Dans cet exemple, le réseau fonctionne grâce à diverses sources de chaleur. Il est alimenté à 89,3% par différentes énergies renouvelables et à 10,7% par le système d'appoint, généralement, alimenté par une source d'énergie fossile.

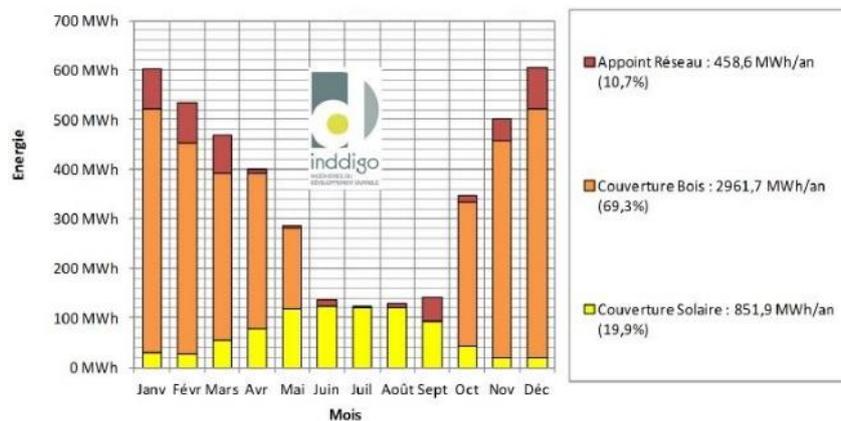


Figure 9 : Mix énergétique d'un réseau de chaleur Source : Inddigo, 2017

Le choix de la source d'énergie se fait en comparant l'ensemble des sources disponibles, lors d'une étude de faisabilité. Les points de comparaison sont les suivants :

- La localisation et la quantité disponible des gisements
- Les modes d'approvisionnement et de stockage
- Leurs caractéristiques techniques
- Le prix et les hypothèses d'évolution du prix

L'origine de la source est importante, le déploiement d'une énergie locale est l'un des premiers critères, car il suppose l'utilisation d'une énergie positive produite localement et demandant peu de transport pour alimenter la chaufferie. Cette énergie locale a l'avantage de favoriser l'économie locale.

Afin de comprendre les critères de choix des énergies, il est nécessaire de connaître et de répertorier les différentes sources positives pouvant alimenter un chauffage urbain. Le but de cette définition est de pouvoir comparer ces différentes sources d'énergie afin d'effectuer une analyse pour vérifier leur viabilité dans la mutualisation des apports naturels de chaleur.

La géothermie

Le fonctionnement de la géothermie consiste à récupérer la chaleur du sous-sol de la terre grâce à des forages, de plusieurs centaines de mètres de profondeur, pour puiser de l'eau chauffée naturellement par le noyau terrestre. La chaleur en est extraite, puis l'eau est réinjectée dans le sous-sol afin qu'elle se réchauffe. Selon la profondeur du forage, la température de l'eau varie entre 30 et 250°C.

L'avantage de cette ressource est son usage gratuit et sans nuisance. La géothermie est une source pérenne ne nécessitant aucun fournisseur d'énergie, car la ressource n'est distribuée par aucun gestionnaire. L'utilisation de la géothermie pour une chaufferie de réseau de chaleur rend possible la conversion du réseau de chaleur en réseau de froid et permet ainsi d'utiliser le réseau sur l'année complète. Une autre particularité avantageuse de ce système est de pouvoir récolter une température avoisinant les températures nécessaires au réseau en variant la profondeur du puisage.

L'inconvénient majeur de la géothermie est lié au potentiel d'extraction sur le territoire français. Bien que le potentiel approche les 90% pour la géothermie très basse énergie²³, des géothermies moyennes et profondes ont un potentiel d'exploitation faible comme le montre la figure 10. L'usage de la géothermie comme source d'énergie est donc lié à l'emplacement géographique du projet. Un des autres inconvénients de ce système réside dans le besoin de l'installation d'une pompe à chaleur géothermique, lors de l'utilisation de géothermie moyenne et très basse énergie. Ce système complémentaire se situe au niveau de la sous-station. La pompe à chaleur permet de répondre aux besoins en chaleur de chaque bâtiment.

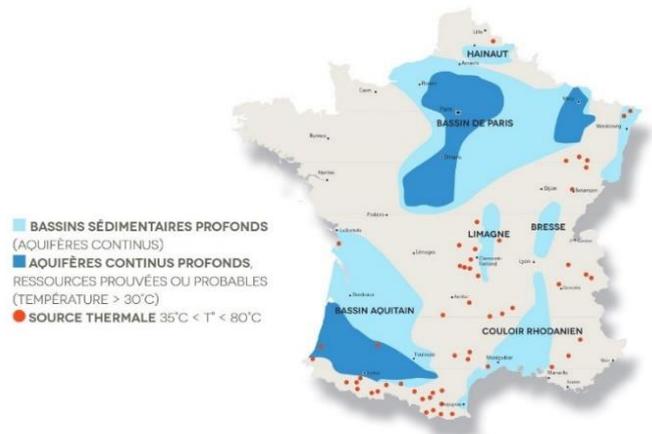


Figure 10 : Les ressources géothermiques en France - Sources : AFPG et BRGM ,2013

L'utilisation de la géothermie demande un coût financier important pour l'installation et la mise en œuvre de cette source énergétique.

²³ Géothermie dont la profondeur de puisage permet de récolter de l'eau à une température inférieure à 30°C

Solaire

Ce système fonctionne en utilisation des panneaux solaires thermiques captant la chaleur du soleil pour préchauffer l'eau chaude. L'eau est récoltée à une température comprise entre 50 et 250°C et alimente le système de chauffe-eau sanitaire ou de chauffage. Il existe également des panneaux solaires hybrides remplissant les fonctions de production d'électricité et de chaleur.

L'avantage des systèmes solaires est qu'ils font appel à une ressource pérenne, gratuite, et sans nuisance. Les panneaux peuvent être positionnés sur des bâtiments ou dans des parcs solaires. Ils n'ont pas besoin d'être directement placés sur la chaufferie pour l'alimenter. Cette possibilité réduit les problèmes d'orientation des bâtiments.

Cependant, l'installation de ces panneaux est onéreuse. De plus, la production de chaleur résultant de ce système soumet le réseau à un régime de température. Le principal inconvénient de ce système est sa production optimum en période estivale alors que les besoins sont principalement hivernaux. Ce décalage oblige à trouver un moyen de stockage saisonnier.

La biomasse

La biomasse regroupe l'ensemble des matières organiques, animales ou végétales. Il existe trois types de biomasses pouvant être utilisées comme source d'énergie : le bois, la biomasse agricole et les déchets organiques. La fabrication de la chaleur est réalisée par la combustion de biomasse dans la chaufferie.

Ce système est le plus utilisé pour alimenter les réseaux de chaleur. En 2017, 503 réseaux utilisaient de la biomasse dans leur mix énergétique. Cette ressource est qualifiée de « *Ressource locale et abondante sur le territoire national, renouvelable, avec un bilan GES favorable* » avec un tarif stable et compétitif selon l'ADEME²⁴. Sa mise en place crée et pérennise des emplois locaux.

Malgré ses avantages locaux, la filière d'approvisionnement demande à être structurée et organisée sur le long terme. La chaufferie biomasse demande un système complémentaire afin de garantir un soutien lors de problèmes techniques ou d'approvisionnement. Ce système d'appoint est généralement alimenté par des énergies fossiles. Un autre inconvénient de ce système est lié au dimensionnement physique de la chaudière. En effet, la structure doit être dimensionnée afin de pouvoir contenir une chaufferie, un silo de stockage et parfois un silo de

²⁴ Citation de l'ouvrage : ADEME et AMORCE, 2017. Guide de création d'un réseau de chaleur : éléments clés pour le maître d'ouvrage. ADEME, 55 p.

séchage. En complément de ces structures, un moyen de stockage peut être prévu dans la structure d'une chaufferie biomasse afin de pouvoir gérer les pics de consommation et ainsi améliorer le rendement. Ces éléments supplémentaires demandent une surface foncière et une possibilité d'accès pour les véhicules de maintenance et d'approvisionnement.

Le biométhane

Le biométhane est un gaz naturel 100% renouvelable, il est également appelé biogaz. Sa fabrication provient des déchets organiques des industries agroalimentaires, de l'agriculture, des restaurants ou des boues de stations d'épuration. Ces sources organiques sont ensuite déposées dans un méthaniseur²⁵, dans le but de produire du biogaz à partir de la fermentation de la matière organique.

L'avantage de cette ressource est qu'elle possède les mêmes propriétés que le gaz naturel. Cette ressemblance facilite l'injection de biogaz dans les systèmes de transport de gaz classique. Un des autres avantages est sa valorisation des déchets organiques permettant la production d'une énergie renouvelable. L'usage du biogaz est avantageux, car l'utilisation des déchets de la fermentation produit des engrais organiques pouvant remplacer les engrais chimiques. L'usage des engrais organiques participe à la préservation de la qualité des sols et des nappes phréatiques. La réalisation du biogaz est un atout pour l'économie circulaire.

Cependant, le lieu de méthanisation doit être alimenté et être inséré à proximité d'un système de distribution. En outre, il faut s'assurer de la pérennité de la ressource. Le biogaz doit subir des traitements adaptés selon la valorisation et l'utilisation souhaitées. Enfin, le coût financier peut être un obstacle à l'installation de ce système.

Énergie de récupération

L'utilisation de l'énergie de récupération consiste à capter une énergie utilisable avant que celle-ci ne soit perdue et non exploitée. L'énergie récupérée est nommée chaleur de récupération ou chaleur fatale. Elle est créée lors de la production d'un autre élément. Les réseaux de chaleur sont les meilleurs moyens d'exploiter cette énergie perdue. La figure 11 illustre la chaîne de production de l'énergie de récupération.

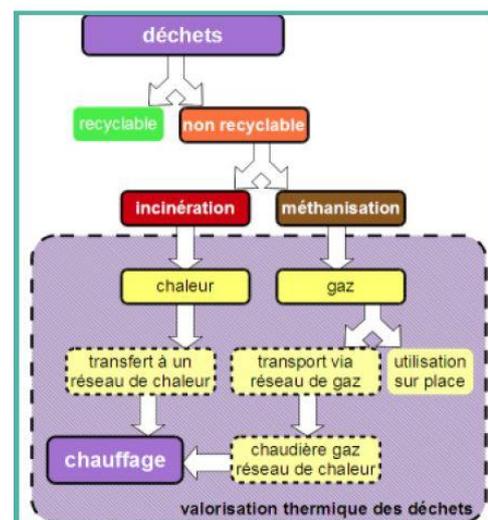


Figure 11 : Production d'énergie de récupération – Source : CEREMA

²⁵ Un méthaniseur est un système de cuves permettant à la matière organique de fermenter afin de produire du méthane.

L'avantage majeur des énergies de récupération est leurs émissions de CO₂ nul. Cette perception du taux d'émission s'explique par la valorisation de la ressource qui aurait dû être initialement perdue. Les sources à valoriser sont multiples : les centres de données informatiques, les usines d'incinération des ordures ménagères, les réseaux d'assainissement, etc. Cette valorisation d'énergie est positive tant d'un point de vue économique qu'environnemental.

L'inconvénient principal de cette ressource est lié à la structure de production. Le réseau de chaleur est dépendant de la production de la chaleur fatale de l'usine. Afin que cette relation soit possible, il est nécessaire de vérifier la pérennité de la ressource avant d'investir.

II.1.2.2 Les moyens de stockage

Les systèmes de stockage thermique ne sont pas nécessaires à l'ensemble des sources renouvelables ou de récupération. Les énergies demandant l'appui d'un dispositif de stockage sont :

- Des sources produisant de la chaleur toute l'année
- Des sources dont l'arrêt de production est impossible ou n'offre pas un intérêt économique ou environnemental.

Par exemple, les systèmes de récupération ou les panneaux solaires répondent à ces caractéristiques.

Le stockage permet de récupérer la chaleur excédentaire produite dans la journée ou en été pour l'utiliser lorsque la demande sera plus importante que la production. Ce stockage permet de répondre aux pics de consommation. Les systèmes de stockage de chaleur existent, mais ils sont connus pour leur faible capacité. Les différents lieux de stockage sont les silos à eau, le sol ou la glace. Le choix du mode de stockage doit prendre en compte la situation géologique, le coût financier et l'emprise foncière nécessaire.

La mise en place de ce système valorise de plus grandes quantités d'énergie renouvelable et de récupération. Elle permet de lisser les appels de puissance, afin de réduire l'utilisation des ressources d'appoint. Les systèmes de stockage participent à l'amélioration des rendements énergétiques des machines et des producteurs solaires.

II.1.3 Viabilité d'un réseau

L'installation d'un réseau de chaleur doit être envisagée le plus en amont possible. Ainsi, il est essentiel d'identifier le projet et de réaliser un état des lieux. Le maître d'ouvrage propose, lors d'une phase préopérationnelle, différentes études d'opportunité et de faisabilité pour apporter une aide à la décision dans les choix techniques, économiques, réglementaires et juridiques du projet. Lors des études d'opportunité et de faisabilité, le réseau de chaleur est étudié dans son ensemble et les différentes sources d'alimentation sont comparées.

La mise en œuvre d'un réseau de chaleur s'applique au cas par cas, en tenant compte de la spécificité de chaque territoire. Afin de juger de la pertinence d'un réseau de chaleur, diverses questions peuvent être soulevées dans l'intérêt d'assurer la rentabilité de celui-ci. Ces questions peuvent concerner : la réalité des besoins de chaleur ou de froid sur le réseau, la part de bâtiments neufs, BePos²⁶ ou existants qui seront raccordés, la production de chaleur attendue, le coût de création ou d'extension des canalisations, les bénéfices environnementaux et le coût des énergies pouvant alimenter le réseau. Ces questions permettent d'établir un état des lieux spécifique aux besoins de chaleur. Elles ont pour intérêt d'essayer de vérifier la compétitivité du réseau vis-à-vis des autres options.

En dehors de ces questions, la mise en place d'un chauffage urbain doit répondre à des critères techniques de viabilité, souvent en lien avec l'urbanisation de la zone concernée. Au total, il existe quatre critères permettant de déterminer la viabilité d'un réseau.

Le premier critère est **la densité thermique** du projet. Cette densité est le critère essentiel d'un réseau de chaleur afin d'être économiquement viable. La densité thermique se calcule par la comparaison de la quantité de chaleur livrée par an par rapport à la longueur de tranchée du réseau²⁷. Elle est exprimée en MWh/(ml.an)²⁸ et indique l'ordre de grandeur du dimensionnement du réseau. Le seuil minimal a été fixé à **1.5MWh/(ml.an)** selon les conditions de la subvention de l'ADEME, nommée Fonds de Chaleur.

Le deuxième critère est **la densité urbaine**. Cette densité correspond à la densité de population présente dans une zone définie. La morphologie urbaine et le taux de renouvellement d'un quartier agissent directement sur le taux de la densité urbaine. Cette densité ne possède pas de seuil minimum ou maximum, mais elle conditionne la longueur du réseau de distribution.

²⁶ BePos : Cela signifie Bâtiment à énergie positive

²⁷ Densité thermique = $\frac{\text{quantité de chaleur livrée sur une année (MWh)}}{\text{longueur de tranchée du réseau (m)}}$

²⁸ MWh/(ml.an) = mégawatt-heure/(mètre linéaire.an)

L'avantage d'installer un réseau de chaleur dans une zone à forte densité urbaine est d'atteindre plus facilement la densité thermique minimale en limitant la longueur du réseau.

Le troisième critère est **la mixité d'usage**, également appelée mixité fonctionnelle. Elle est liée à l'organisation du territoire et du regroupement de diverses fonctionnalités dans une zone définie. La mixité d'usage est un critère essentiel dans la réflexion de la mise en place d'un réseau de chaleur, car elle impacte le taux de foisonnement de la zone concernée. **Le taux de foisonnement**²⁹ détermine la pertinence énergétique d'un quartier et le potentiel de lissage des pics de consommation. L'intérêt de la mixité d'usage est de pouvoir lisser les pics de consommation sur la journée ou la semaine. Le lissage des pics permet le fonctionnement de la chaudière du réseau de chaleur au maximum de ses capacités le plus régulièrement possible. La mixité d'usage, dans le cas du chauffage urbain, est essentielle pour réduire les périodes d'interruption de la chaudière et améliorer son rendement.

Le quatrième critère à prendre en compte dans la viabilité d'un réseau de chaleur est la **performance thermique des bâtiments raccordés**. Les performances thermiques d'un bâtiment sont liées à ses caractéristiques du point de vue de son exposition et de ses capacités thermiques. Il est important de vérifier la qualité du bâtiment raccordé, afin de s'assurer des besoins énergétiques et de la présence éventuelle de déperditions thermiques. Ces pertes sont appelées ponts thermiques. Ils correspondent aux zones du bâtiment où l'isolation est affaiblie, entraînant ainsi une variation de la résistance thermique. L'importance du nombre de ponts thermiques affectera le besoin en chauffage.

La viabilité d'un réseau de chaleur est intimement liée à la structure des bâtiments ainsi qu'à l'organisation du quartier desservi. Afin d'assurer la viabilité de ce système, il est essentiel de vérifier la densité thermique du projet et de s'intéresser aux caractéristiques thermiques et fonctionnelles des bâtiments raccordés.

Afin d'aider à la décision sur ces critères, les maîtres d'ouvrage disposent d'outils informatiques pour les accompagner dans la réflexion de mise en œuvre d'un réseau de chaleur.

Le premier outil disponible est la boîte à outils HOTMAPS. Elle permet d'aider à analyser la densité thermique d'une zone. L'outil HOTMAPS est un produit open source, son

²⁹ L'annexe 7 illustre le principe de foisonnement extrait de l'ouvrage : OGE, 2020. *Comment concilier urbanisme et performance énergétique*. Publi-Topex, 430 p.

utilisation est gratuite et libre d'accès. L'utilisation de cette boîte à outils nécessite un logiciel SIG afin de cartographier, modéliser et simuler les différents scénarios de projet. Cette boîte à outils est reconnue au rang européen, elle permet aux collectivités de récolter des données afin d'imaginer et d'analyser divers scénarios de projet de chauffage et de climatisation. HOTMAPS a pour vocation de « *soutenir les stratégies de planification de chauffage et de climatisation au niveau local* »³⁰. Avec cet outil, les collectivités sont capables d'identifier les potentiels d'énergie renouvelable sur une zone spécifique, ainsi que les emplacements actuels de l'offre et de la demande en chauffage. Elles peuvent ainsi calculer le potentiel d'un chauffage urbain, estimer et comparer les coûts par rapport à une zone spécifique en fonction de divers scénarios.

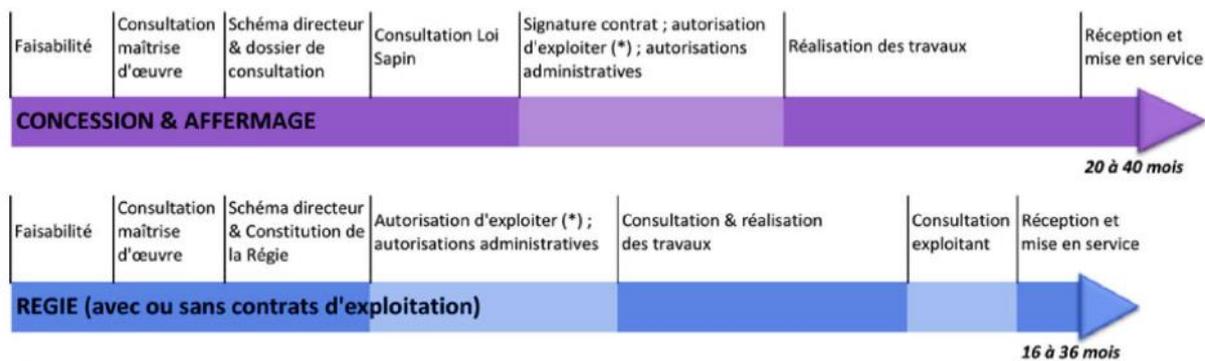
Le second outil disponible est l'extension SigOpti³¹. La création de cette extension a été demandée par l'ADEME et la FNCCR auprès du centre de recherche français NOBATEK/INEF4. Le but de la mission était de concevoir un logiciel d'aide aux collectivités afin d'optimiser les réseaux de chaleur sur une période d'amortissement d'environ 30 ans grâce à un système SIG. Actuellement, SigOpti ne prend pas en compte l'impact environnemental dans ses calculs. SigOpti a été créé pour estimer un coût global des travaux et pour contrôler la rentabilité de l'amortissement sur une période envisagée lors de l'étude de faisabilité d'un réseau de chaleur. La réflexion initiale de cette extension a été pensée pour concevoir des réseaux de chaleur de grande ampleur. Cependant, il peut être utilisé pour de plus petits réseaux.

Les outils HOTMAPS et SigOpti permettent aux maîtres d'ouvrages d'analyser la faisabilité d'un réseau de chaleur ou de froid d'un point de vue économique, environnemental et technique. Elles sont une source essentielle pour la prise de décision.

L'étude de faisabilité effectuée fait apparaître les divers critères de viabilité permettant de justifier la mise en œuvre et l'investissement du projet. Les différentes étapes à la mise en place d'un réseau de chaleur ont un temps variable selon le mode de gestion, tel que l'illustre la figure 12 présente à la page suivante. Quoiqu'il en soit, la mise en place d'un réseau de chaleur passe par les étapes suivantes : étude de faisabilité, consultation de la maîtrise d'œuvre, création d'un schéma directeur, autorisations d'exploitation, réalisation des travaux, réception et mise en service.

³⁰ Slogan d'energy cities pour désigner la boîte à outils HOTMAPS

³¹ L'extension SigOpti et les notices d'utilisation sont téléchargeables sur le site suivant : <https://github.com/sigopti/>



(*) Chaufferie supérieure à 20 MW

Figure 12 : Chronologie de réalisation d'un réseau de chaleur - Source : AMORCE, 2017

Un réseau de chaleur est un système de chauffage onéreux dans sa mise en place. Ce coût d'investissement peut justifier le nombre peu élevé de projets de faible ampleur utilisant ce système de chauffage. Afin d'aider leur déploiement, il existe des aides techniques et financières.

II.2 Les aides administratives

Le mode de fonctionnement d'un réseau de chaleur favorise la mutualisation de production de chaleur, grâce à l'utilisation d'une unité de production pour plusieurs usagers. De plus, ce mode de chauffage propose une possibilité de sources de production variée et adaptée aux énergies renouvelables et de récupération. La mise en place d'un tel réseau est une solution viable concernant l'augmentation de la quantité d'énergie vertueuse dans la production de chaleur. Cependant, ce système nécessite un coût financier important. Afin d'encourager le déploiement de ce mode de chauffage, des aides techniques et financières sont possibles.

II.2.1 Outils législatifs

II.2.1.1 La réglementation thermique et les réseaux de chaleur

Depuis 2007, la réglementation thermique évolue en prenant en compte deux types de bâtiments : les bâtiments neufs et les bâtiments existants. Cette seconde catégorie est divisée en deux classes dépendantes de la surface ou de la charge de travaux de rénovation³². L'impact de cette division dans la réglementation thermique permet d'adapter ses objectifs de raccordement selon la catégorie du bâtiment. Pour comprendre ces différents objectifs, l'Association AMORCE a réalisé une analyse mettant en avant les avantages des réseaux de chaleur selon la catégorie du bâtiment en s'appuyant sur les objectifs des réglementations thermiques³³.

³² L'annexe 8 propose un schéma d'AMORCE détaillant les catégories de bâtiments

³³ L'annexe 9 comporte les tableaux synthèses de l'analyse des RT vis-à-vis des réseaux de chaleur.

II.2.1.2 Les lois relatives aux réseaux de chaleur

La réglementation a évolué en faveur du déploiement du chauffage urbain. Cet engouement a été initié par l'institution des lois Grenelle. La loi Grenelle I incite à la création et au raccordement aux réseaux de chaleur vertueux par le biais de l'article L128-4 du code de l'urbanisme. La loi Grenelle II encourage le raccordement aux réseaux en facilitant son classement, ainsi qu'en imposant une mise en place obligatoire du comptage de la chaleur distribuée à chaque point de livraison.

Comme les lois Grenelle, la loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) renforce le lien entre urbanisme et planification locale dans le domaine de l'énergie et du climat. La LTECV incite à l'augmentation de la quantité d'énergie renouvelable et de récupération. Dans ce but, cette loi crée des outils de pilotage de la politique énergétique, comme les programmes pluriannuels de l'énergie (PPE). Le PPE a pour objectif de fixer les actions prioritaires des pouvoirs publics afin d'atteindre les objectifs³⁴ de politique énergétique.

Les différentes mesures législatives ont permis de faire évoluer les compétences et les outils des collectivités afin de leur fournir une meilleure vision de l'adaptabilité des réseaux de chaleur sur leur territoire. Dans ce sens, le Schéma Directeur des Réseaux de Chaleur (SDRC) a été créé. Par ailleurs, en vue d'aider à favoriser le taux de raccordement au réseau de chaleur, les collectivités ont à leur disposition un système de classement administratif de ces systèmes.

Schéma Directeur des Réseaux de Chaleur

Le SDRC est un document définissant une situation et proposant des scénarios d'évolution à partir d'un diagnostic technico-économique. Son contenu concerne uniquement les réseaux de chauffage urbain existants. Les collectivités ayant un réseau de chauffage urbain en service depuis le 1^{er} janvier 2009 ont l'obligation de réaliser un SDRC concernant l'ensemble de son réseau. Ce schéma est nécessaire à l'obtention de la subvention du Fonds de Chaleur de l'ADEME.

Le SDRC a pour objectif d'aider à prévoir l'évolution d'un réseau de chaleur, notamment grâce aux divers scénarios permettant de déboucher sur une solution viable. Celle-ci aboutira à la définition d'un programme de travaux sur la période de validité du schéma, d'environ 10 ans. Par ailleurs, ce schéma offre une vision partagée des réseaux de chaleur.

³⁴ L'annexe 10 est l'extrait de l'article 4 du décret 2020-456 du 21 avril 2020. Il précise les objectifs de production de chaleur et de froid « verte » à l'échelle de la France métropolitaine continentale.

Afin d'aider les collectivités à rédiger correctement leur SDRC, les associations ADEME et AMORCE ont rédigé en 2015 un guide de réalisation³⁵.

Le classement des réseaux

Le classement d'un réseau de chaleur est un outil de planification énergétique territoriale définissant une ou plusieurs zones où le déploiement de ce mode de chauffage est prioritaire et dont le raccordement est obligatoire. L'obligation de raccordement concerne les bâtiments neufs et les bâtiments existants réalisant des travaux de rénovation importants ou changeant leur système de chaudière. La procédure de classement est un acte administratif. L'autorité habilitée à classer un réseau de chaleur est la collectivité propriétaire. Le classement est possible si le réseau respecte trois conditions³⁶ :

1. Le réseau est alimenté au minimum par 50% d'énergie renouvelable et de récupération.
2. Chaque point de livraison doit être équipé d'un système de comptage des quantités d'énergie livrée
3. L'équilibre financier du réseau est assuré sur la période d'amortissement

Le classement d'un réseau est règlementé depuis 1980 par la loi relative aux économies d'énergie et à l'utilisation de chaleur³⁷. Les articles R712-1 et suivants du code de l'énergie viennent compléter les dispositions du classement. Ces articles expliquent notamment : les conditions de classement, les bâtiments dont le raccordement est obligatoire, les zones prioritaires et leur compatibilité avec les documents d'urbanisme. La collectivité doit effectuer le classement administratif afin de créer une obligation de raccordement des bâtiments à son réseau de chaleur. Sans ce classement, le raccordement resterait à l'initiative des usagers.

II.2.2 Les aides

Le financement d'un chauffage urbain est onéreux, l'investissement étant la principale source de dépenses, cependant les coûts de fonctionnement et de maintenance restent essentiels dans l'estimation financière et le temps d'amortissement. La structure de l'amortissement doit être envisagée à long terme, sur une période d'une trentaine d'années. Pour accompagner financièrement les projets de réseau de chaleur, il existe des aides d'accompagnement.

³⁵ Le guide de réalisation est l'ouvrage : ADEME et AMORCE, 2015. *Schéma directeur d'un réseau de chaleur et de froid : Guide de réalisation* : [en ligne]. , 31 p.

³⁶ Conditions fixées par l'article R712-1 du code de l'énergie

³⁷ Loi du 15 juillet 1980 n°80-531 consolidée le 03 mai 2020.

II.2.2.1 Fonds de chaleur

Le Fonds de chaleur est l'aide principale dans ce domaine. Il fut créé en 2009 en réponse à l'article 19-IV de la loi Grenelle I, indiquant : « [...] un soutien appuyé sera apporté aux réseaux de chaleur alimentée à partir de sources renouvelables, y compris par l'utilisation de l'eau des réservoirs miniers profonds ». Cette subvention est gérée par l'agence de l'ADEME à l'échelon régional. Cette aide s'adresse aux collectivités et aux entreprises dans le cadre de la transition écologique. Son objectif est de financer des projets de chaleur renouvelable dans divers secteurs d'activité. Son obtention est possible lors de la création et de l'extension de réseaux de chaleur vertueux, dont le taux d'énergie renouvelable est supérieur à 65%, ou lors d'un changement de chaudière conventionnelle en une chaudière utilisant une énergie renouvelable. Le fonds de chaleur finance le réseau de distribution et les installations de production de chaleur. Outre l'obtention d'une aide financière, cette démarche permet au projet et au maître d'ouvrage de recevoir un accompagnement de l'ADEME durant la période de mise en place et de mise en œuvre du projet.

II.2.2.2 La TVA à taux réduit

La TVA récompense l'approvisionnement de chaleur vertueuse de ces usagers par une réduction de leur facture d'abonnement. Le taux de la TVA du coût de l'énergie des utilisateurs est diminué de 19.6% à 5.5%. Le pourcentage d'énergie positive pour bénéficier de cette aide doit dépasser 60%.

II.2.2.3 Les aides des collectivités territoriales

Elles sont un soutien financier, technique ou méthodologique d'un conseil régional ou départemental, permettant d'aider au déploiement de ces réseaux. Leurs montants et leurs aides sont variables selon la politique locale.

II.2.2.4 Aides aux usagers

L'État a mis en place des aides aux rénovations énergétiques au profit des propriétaires. Cependant, toutes les aides aux rénovations énergétiques ne permettent pas d'aider lors de travaux de rénovation dans le cadre d'un réseau de chaleur. Parmi les aides éligibles aux travaux de raccordement à un chauffage urbain, nous pouvons citer : le crédit d'impôt, la réduction d'impôt « Denormandie », l'Éco-Prêt à taux zéro ou l'aide « Habiter mieux sérénité ».

II.3 Étude des réseaux de chaleur dans des projets de faible ampleur

La définition et le fonctionnement d'un réseau de chaleur ont été analysés afin de comprendre et d'assimiler toutes les notions liées à ce système de chauffage. Cependant, nous nous interrogeons sur la viabilité de l'adaptation de ces réseaux à des projets de faible ampleur. En effet, la mise en place de ce système est souvent liée à de grands aménagements ou à la présence d'un consommateur d'énergie important (crèche, EPHAD, piscine, etc.).

Dans notre réflexion, la réponse à apporter à cette interrogation doit être fondée sur une analyse des réseaux de chaleur, dans le but d'améliorer les performances énergétiques d'un projet et de garantir au maximum sa sobriété énergétique.

II.3.1 Analyse pondérée

Le tableau 3 ci-dessous permet de proposer une synthèse des avantages et inconvénients de la mise en œuvre de ce système de chauffage et ainsi définir les moments où il est opportun de l'utiliser.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Bénéfique à la transition énergétique- Concilie service de proximité, sécurité, confort et stabilité du prix de l'énergie- Alimentation possible par diverses sources (fossiles, renouvelables ou de récupération)- Principal système utilisant l'énergie de récupération- Valorise les sources locales- Favorise l'économie circulaire- Permet la distribution de chaleur vertueuse à plusieurs usagers à partir d'une unité de production- Peut convertir le réseau de chaleur en réseau de froid- Encourage la mixité d'usage des zones pour lisser les pics de consommation- Améliore la qualité de l'air en raison de son faible taux d'émission de GES- Maîtrise des nuisances (qualité de l'air, bruit, visuel, stockage)- Les boucles tempérées minimisent les pertes thermiques dues au transport	<ul style="list-style-type: none">- Viabilité pas toujours assurée toute l'année (besoin l'hiver et production l'été)- Coût financier onéreux, amortissement sur 30 ans- Présence d'un consommateur important peut-être essentielle à la viabilité du réseau selon ses sources de production- Demande une densité thermique minimale de 1.5MWh/(ml.an)- Personnel qualifié pour gérer la maintenance- Pérenniser son approvisionnement local peut être difficile pour une petite collectivité- Demande parfois de l'espace foncier pour le stockage (biomasse ou stockage de l'énergie)- Lien étroit entre la politique locale et l'acceptabilité des habitants pour adopter ce mode de chauffage- Interrogation de la viabilité selon la densité thermique des bâtiments raccordés (exemple : BePOS)- 20% de perte thermique sur le réseau

Tableau 3 : Analyse pondérée d'un réseau de chaleur - Source : HERVÉ F., 2020

Le système du chauffage urbain possède autant d'avantages que d'inconvénients, comme le prouve le tableau 3. L'essentiel de ses inconvénients proviennent du coût financier et des spécificités techniques de ce système. A contrario, ses avantages sont liés aux bénéfices énergétiques et environnementaux qu'il propose. Nous pouvons déduire que le coût financier

et l'impact environnemental sont deux notions déterminantes dans le choix de la mise en place de chauffage. Leur équilibre est essentiel pour permettre à un réseau de chaleur d'être viable. À l'inverse, le déséquilibre entre ces deux notions entraînerait le projet vers une impossibilité de mise en place de ce système, principalement si le coût financier est le plus important que les bénéfices environnementaux.

L'enjeu du coût financier et de l'impact environnemental sont deux notions variables, elles ne sont jamais identiques d'un projet à un autre. Afin de pouvoir analyser de manière générale la viabilité du système de chauffage urbain dans des projets de faible ampleur, il est essentiel d'appréhender le mix énergétique à privilégier, ainsi que la viabilité d'un réseau de chaleur selon plusieurs organisations de projets.

II.3.2 Le mix énergétique d'un réseau de chaleur

Pour rappel, le mix énergétique présente la répartition des différentes sources énergétiques utilisées afin de produire de l'énergie. Sa composition peut contenir des énergies conventionnelles (fioul, gaz) ou des énergies renouvelables et de récupération.

Pour favoriser la mise en place d'un réseau de chaleur dans des aménagements de faible ampleur, il est essentiel que la proportion des énergies renouvelables et de récupération soit supérieure aux énergies conventionnelles. En effet, l'inconvénient majeur de ce système provient des pertes thermiques de son réseau. Pour compenser sa faiblesse liée aux pertes thermiques, il est nécessaire d'accentuer l'utilisation de son atout majeur. Afin de créer un équilibre entre les pertes thermiques et le bénéfice vertueux du projet, la part majoritaire du mix énergétique doit être assurée par des énergies positives.

Cependant, l'usage d'énergie conventionnelle n'est pas à bannir, il doit être raisonné. Le chauffage urbain utilise régulièrement un système d'appoint, afin de pouvoir remplacer la chaufferie du réseau en cas de panne ou de problème d'alimentation. Il est conseillé d'alimenter ce système d'appoint par des énergies conventionnelles, car leurs sources sont davantage généralisées sur le territoire.

Le choix du mix énergétique varie d'un réseau de chaleur à un autre. Les trois critères permettant de choisir la composition du mix énergétique sont :

- **La localisation de la source :** La source principale du réseau de chaleur doit être locale. Ce critère permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) utilisés lors du transport de la ressource. Il permet également de développer ou de maintenir l'économie circulaire du territoire. L'utilisation des ressources locales est à favoriser, car elles permettent de valoriser des « déchets » perdus ou sous-exploités.
- **La pérennité de la source :** Il est essentiel de vérifier que la source choisie puisse être utilisée durant le cycle de vie du réseau. Si la pérennité n'est pas vérifiée, le risque encouru est la fin de la filière locale quelques années après la mise en service du réseau. Cette hypothèse empêcherait l'amortissement du réseau et nécessiterait l'exploitation d'une ressource plus éloignée ou la réalisation de travaux de remplacement de la chaufferie pour l'adapter à une nouvelle source énergétique.
- **La température de chaleur demandée par les usagers :** Les sources d'énergie ne produisent pas de flux caloporteur avec une température identique. Le choix de privilégier une source ou une autre peut provenir de la température de la chaleur produite. Cette caractéristique permet d'éviter d'utiliser des systèmes complémentaires afin de refroidir ou de réchauffer le flux caloporteur avant l'usage dans le bâtiment. Le choix de la source sera alors privilégié par rapport aux besoins des consommateurs. En effet, tous les usagers n'ont pas forcément les mêmes besoins en chaleur. Par exemple, une usine aura des besoins pouvant atteindre une température supérieure à 100°C, alors que des habitations auront des besoins de température autour de 60°C.

La composition du mix énergétique d'un réseau de chaleur dans des opérations de faible ampleur est une notion essentielle à sa viabilité. Il permet l'exploitation des ressources locales non utilisables à l'échelle individuelle. La mise en place de ces réseaux de chaleur à cette échelle d'opération engendre une augmentation du taux d'énergie renouvelable et de récupération dans les systèmes de chauffage des particuliers. Ce taux permet d'améliorer le mix énergétique général des réseaux de chaleur, en lui permettant d'accroître positivement sa proportion d'énergie positive. Selon VIA SEVA³⁸, les objectifs de la loi relative à la transition énergétique (LTECV) pourront être atteints si la distribution de chaleur est majoritairement issue des

³⁸ VIA SEVA est une association française de promotion des réseaux de chaleur et de froid

énergies renouvelables, notamment le solaire, la géothermie et les énergies de récupération. La composition d'un mix énergétique vertueux pourrait permettre de satisfaire 2/3 tiers des besoins de chaleur.

II.3.3 Hypothèses de projet de faible ampleur

Un réseau de chaleur doit, quelle que soit sa taille ou l'échelle de son projet, répondre à des caractéristiques (densité thermique minimale de 1.5MWh/(ml.an), composition du projet favorisant la mixité fonctionnelle, densité urbaine et contrôle des performances thermiques des bâtiments raccordés). Pour rappel, chaque réseau de chaleur doit présenter un bilan équilibré entre le coût financier, la production et la distribution de chaleur.

La spécificité de notre réflexion est de s'assurer que la mise en place d'un réseau permette la mutualisation des réseaux et contribue à l'amélioration des performances énergétiques dans des projets de faible ampleur. En effet, un réseau de chaleur consent à mutualiser les réseaux, car son usage permet l'alimentation en chaleur de plusieurs constructions à partir d'une source de chaleur. L'amélioration des performances énergétiques est possible par l'utilisation de ce mode de chauffage, il cherche à privilégier les sources d'énergie positive non exploitable à l'échelle individuelle.

Le réseau de chaleur entre dans une démarche de mutualisation et de généralisation des performances énergétiques au sein de projets de faible ampleur. Leur mise en place est variable selon les caractéristiques propres du projet. Cependant, dans l'intérêt d'apporter une réponse générale sur la possibilité de la mise en place des réseaux de chaleur vertueux, nous proposons d'analyser ce système selon quatre grands scénarios. La définition des scénarios s'est appuyée sur les éléments rencontrés, lors de nos recherches, participant à la viabilité d'un réseau de chaleur. L'échelle d'étude des projets de faible ampleur correspond à des opérations d'une vingtaine de lot. Leur composition sous-entend que les différents critères de viabilité sont respectés, tels que la densité thermique. Le but de ces scénarios est de mettre en avant des propositions d'organisation d'opération selon :

- **Les besoins des usagers** : Un réseau de chaleur peut alimenter aussi bien des projets de faible ampleur mélangeant les secteurs d'activité résidentielle, tertiaire et industrielle. Le choix des scénarios doit mettre en avant les différentes organisations possibles de ce point de vue.

- **Les réseaux concurrents** : Les réseaux de chaleur distribuent la chaleur grâce à des ressources énergétiques produites à cet effet. Cependant, ils ne sont pas les seuls systèmes pouvant remplir cette fonction. D'autres réseaux utilisent des ressources identiques ou différentes de celles du chauffage urbain afin de produire ou de distribuer de la chaleur. Il est donc essentiel de vérifier le réseau à privilégier.
- **La particularité des sources utilisées** : Le choix du mix énergétique peut être décidé par le besoin des usagers, mais également par la production de certaines constructions. Les scénarios devront prendre en compte ces possibilités.

À partir de ces diverses orientations, nous avons déterminé quatre grandes hypothèses :

1. Mise en place d'un réseau de chaleur à proximité d'un réseau de gaz : Ce scénario a pour but de comparer le système de chauffage urbain avec son principal homologue, le réseau de gaz. Il a pour intérêt de vérifier la viabilité et la pertinence de ces réseaux auprès des usagers, essentiellement des bâtiments à usage d'habitation, et de la proximité des ressources renouvelables.
2. Mise en place d'un réseau de chaleur à proximité d'une usine produisant de l'énergie de récupération : Ce scénario permet de mettre en valeur une source d'énergie en particulier, la chaleur fatale. Le réseau de chaleur étant le moyen le plus favorable à l'exploitation de cette source, il est intéressant de mettre en avant la valorisation d'énergie perdue dans une de nos hypothèses.
3. Mise en place d'un réseau de chaleur dont un des utilisateurs est un « gros consommateur » : Ce scénario est le cas le plus utilisé dans l'installation d'un réseau de chaleur. Il permet de regrouper différents besoins de chaleur à proximité de ce réseau.
4. Mise en place d'un réseau de chaleur dans un quartier résidentiel : Cette hypothèse est divisée en deux scénarios : les quartiers résidentiels comportant des bâtiments existants et les quartiers résidentiels comportant de futurs bâtiments. Le choix de ces scénarios s'explique par le nombre important d'opérations regroupant des constructions à usage d'habitation, par exemple les lotissements.

L'ensemble des hypothèses analyse la pertinence d'un réseau de chaleur selon ses avantages, ses inconvénients, ses frais et son mix énergétique. Afin de regrouper ces informations, nous avons synthétisé ces critères dans un tableau³⁹.

³⁹ L'annexe 11 présente le tableau synthèse des scénarios et des mix énergétiques.

II.3.3.1 Mise en place d'un réseau de chaleur à proximité d'un réseau de gaz

Le réseau de gaz a un fonctionnement pouvant s'assimiler au réseau électrique, étant tous les deux des systèmes centralisés exploités par des délégataires de service public (DSP). Pour le gaz, le délégataire principal est GRTGaz⁴⁰. Le principe de production et de distribution nécessite des unités de production de gaz, en amont du circuit, ainsi qu'un réseau principal et secondaire.

Le réseau principal a pour mission de transporter le gaz sur l'ensemble du territoire. Son extension et sa maintenance sont à la charge du délégataire de service public, GRTGaz. La mission du réseau secondaire est de distribuer le gaz du réseau principal dans les régions, départements et communes. Sa distribution permet aux usagers de se chauffer, de cuisiner, d'avoir de l'eau chaude sanitaire, de l'utiliser comme carburant pour certains véhicules. La charge des frais d'extension et de maintenance est essentiellement à la charge du délégataire de service public (GRDF).

Depuis plusieurs années, la France ne produit plus de gaz naturel sur son territoire, la majorité du gaz utilisé est importée. Le but de GRDF depuis quelques années, est de produire un gaz français vertueux. Cet objectif a pour intérêt de réduire le taux d'importation du gaz et de répondre aux objectifs de la LTECV, comme celui de réduire la consommation d'énergie fossile de 30%. Afin de favoriser cette démarche, GRDF accompagne des projets de biométhane sur l'ensemble du territoire. Selon les chiffres de GRDF, plus de 1 000 projets ont été proposés en février 2020 sur l'ensemble de la France et environ 850 projets seront mis en œuvre dans un délai de 18 à 36 mois. Actuellement, la France comporte 133 sites de biométhane fonctionnel.

Le réseau de gaz et le réseau de chaleur sont des concurrents directs, car leur utilisation auprès des particuliers est identique sur deux fonctions essentielles : le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Cette ressemblance engendre une réflexion sur l'extension ou l'installation de ces systèmes. Cependant, le gaz peut répondre à des besoins supplémentaires. Il est une source d'alimentation pour les véhicules GPL⁴¹ et un combustible, notamment dans certaines usines. Au vu de leur ressemblance, la question concernant l'avantage d'installer ces réseaux en parallèle ou de favoriser un de ces réseaux peut se poser. Pour répondre à cette interrogation, il

⁴⁰ GRTGaz est une société française gestionnaire du réseau de transport du gaz.

⁴¹ Véhicule utilisant du Gaz de Pétrole Liquifié (GPL) comme carburant.

faut étudier deux hypothèses : le cas où un réseau de gaz est présent dans le périmètre de l'opération et celui où un réseau de gaz est présent à proximité de l'opération.

Présence d'un réseau de gaz dans le périmètre du projet

Dans l'hypothèse où un réseau de gaz serait déjà installé au sein du périmètre du projet de réseau de chaleur, il est raisonnable de poursuivre le déploiement du réseau de gaz. En effet, la concurrence directe de ces réseaux pourrait entraîner une mise en concurrence des systèmes, comme le montre la figure 13. Le déploiement en parallèle de ces deux réseaux entraînerait une perte des clients pour chacun d'eux. En effet, aucun des deux réseaux présentés ne possède une solution obligeant les usagers à se raccorder à leur système. Les risques sont de deux ordres :

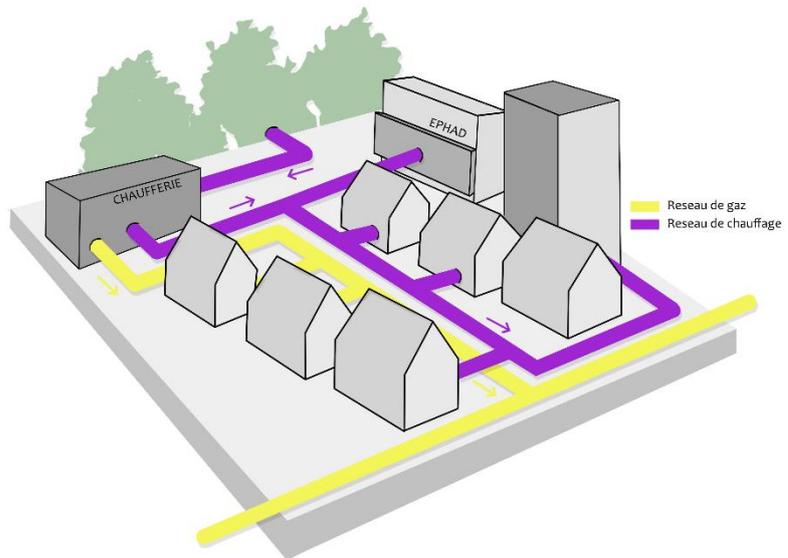


Figure 13 : Concurrence des réseaux de gaz et de chaleur –
Illustration : HERVÉ F. & LE HOUEDÉC G., 2020

- Le réseau de chaleur n'attire pas les usagers à se raccorder, car les habitants bénéficient déjà du réseau de gaz en système de chauffage.
- Le raccordement au nouveau système de chauffage est partiel. Celui-ci entraîne une diminution des clients au profit du réseau de gaz. Cette situation peut entraîner le manque de viabilité du réseau de chaleur, dû à l'insuffisance d'usagers.

La mise en place d'un réseau de chaleur en parallèle du réseau de gaz possède un autre inconvénient. La mise en œuvre du réseau de chaleur demande un investissement onéreux. Son déploiement le long d'une conduite de gaz revient à financer un second mode de chauffage. Cet investissement peut être considéré comme un surcoût financier, car les usagers possèdent déjà un système de chauffage viable et remplissant les conditions de mutualisation des réseaux.

Présence d'un réseau de gaz à proximité du périmètre du projet

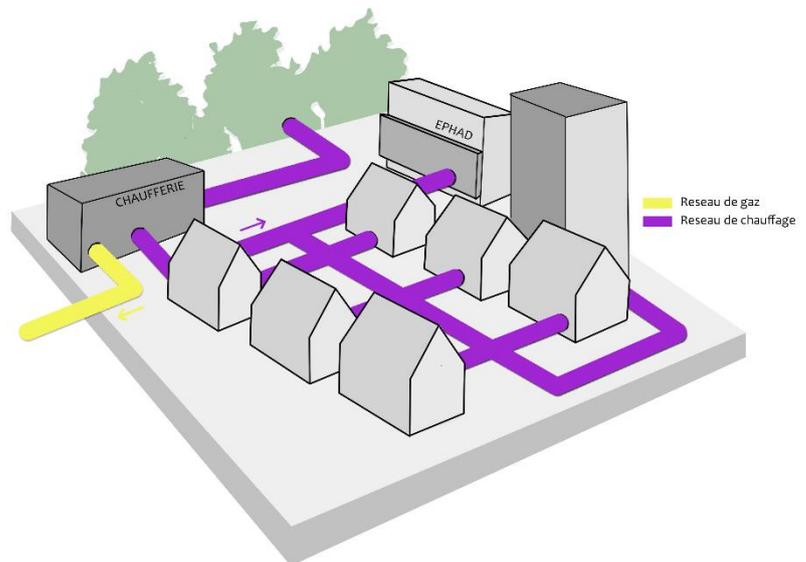
Dans cette seconde hypothèse, aucun réseau de gaz n'est présent au sein du projet, mais une extension du réseau de gaz est possible pour desservir le projet. Dans ces conditions, le choix du réseau peut être lié à la source de chaleur choisie qui doit avoir le souci de favoriser la sobriété et les performances énergétiques du projet. Lors de l'étude de faisabilité, la réflexion sur les sources locales de production d'énergie permet de justifier le choix du réseau. La figure 14 montre deux scénarios de raccordement de réseau selon la source renouvelable utilisée.

En effet, dans notre optique de sobriété énergétique il est préférable de privilégier les sources locales d'énergie renouvelable ou de récupération. De ce point de vue, le réseau de chaleur est à encourager, car les énergies solaires, de récupération, géothermiques et la biomasse ne produisent pas de gaz exploitable par le réseau de GRDF. Dans ces conditions, la seule utilité du réseau de gaz est d'alimenter le système d'appoint.

A contrario, une ressource renouvelable encourage le déploiement du réseau de gaz, le biométhane. Les sites de production de biométhane ont davantage intérêt à être reliés au réseau de gaz, car l'exploitation de cette source subit moins de pertes lorsqu'elle est exploitée par GRDF. Pour rappel, un réseau de chaleur accuse une moyenne de

20% de pertes thermiques lors de la distribution alors que celles d'un réseau de gaz sont presque

Chaudière alimentée par de la biomasse



Chaudière alimentée par un site de méthanisation

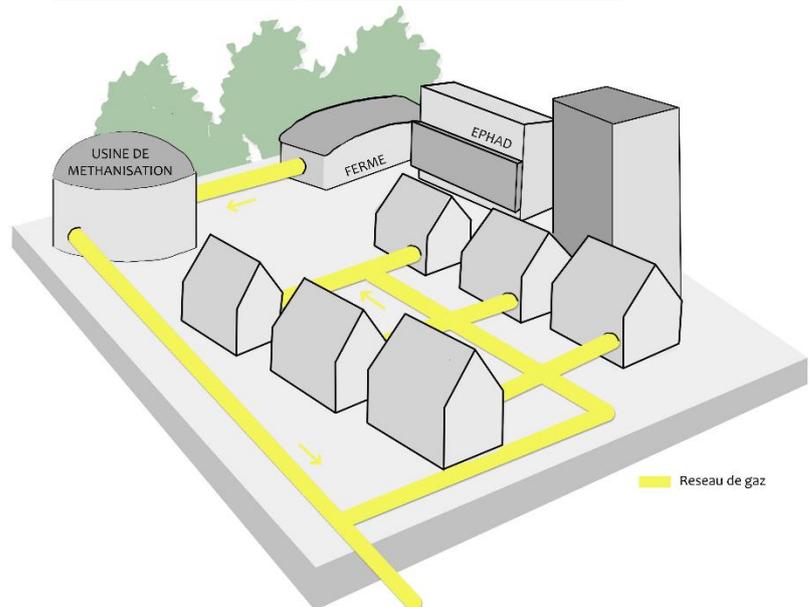


Figure 14 : Schéma illustrant l'exploitation des réseaux selon la source énergétique – Illustration : HERVÉ F. & LE HOUÉDEC G., 2020

inexistantes. De plus, lorsque l'exploitation des sites de biométhane est réalisée par le délégataire de service public GRDF, les coûts d'installation de raccordement du site au réseau sont à sa charge. GRDF contrôle également la qualité du biométhane avant son injection dans le réseau pour vérifier la compatibilité du gaz transporté avec le biométhane injecté.

Dans ce scénario, nous comprenons qu'il est essentiel de ne pas déployer les réseaux en parallèle afin d'éviter des frais supplémentaires et une concurrence non maîtrisée. Le choix du réseau est effectué, soit par la présence antérieure d'un réseau, soit par la source d'énergie locale privilégiée. Le tableau 4 récapitule le choix du réseau selon les diverses sources énergétiques.

	Réseau de gaz	Réseau de chaleur
Géothermie	X	<ul style="list-style-type: none"> • Seulement si un système de gaz n'est pas déployé en amont et que la géothermie est possible dans le périmètre du projet. • Pour le choix de la profondeur du forage de géothermie, il faut se référencer aux autres scénarios.
Solaire	X	<ul style="list-style-type: none"> • Seulement si un système de gaz n'est pas déployé en amont et que l'utilisation des panneaux thermiques ou mixtes est plus favorable.
Biomasse	X	<ul style="list-style-type: none"> • Seulement si un système de gaz n'est pas déployé en amont et que la ressource biomasse est favorable.
Récupération de chaleur	X	<ul style="list-style-type: none"> • Seulement si un système de gaz n'est pas déployé en amont et qu'un système de récupération de chaleur peut être mis en place.
Biométhane	<ul style="list-style-type: none"> • La présence d'un site de biométhane doit être reliée au réseau de gaz afin d'éviter un surplus de perte thermique. Pour rappel, un réseau de chaleur a, en moyenne, 20% de pertes thermiques lors du transport du fluide caloporteur. • L'injection de biomasse permet l'augmentation du taux d'énergie renouvelable dans le mix énergétique du gaz. 	X
Énergie conventionnelle	<ul style="list-style-type: none"> • Seulement si la source est du gaz naturel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Permet l'alimentation d'un système d'appoint. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ne permet pas la viabilité d'un réseau de chaleur du point de vue de la sobriété énergétique.

Tableau 4 : Mix énergétique du scénario 1, concurrence entre les réseaux de gaz et de chaleur – Source : F.HERVÉ, 2020

II.3.3.2 Mise en place d'un réseau de chaleur à proximité d'une usine produisant de l'énergie de récupération

La présence d'une usine dans un projet de faible ampleur peut être une valeur ajoutée à la viabilité d'un réseau de chaleur. En effet, une usine peut avoir un rôle dans la structure de ce système, soit en étant un consommateur avec des besoins spécifiques, soit en étant le centre de production de la source alimentant le réseau. Dans ce scénario, l'hypothèse étudiée est celle de l'usine produisant de l'énergie.

L'énergie produite par l'usine est appelée « chaleur de récupération » ou « chaleur fatale ». La particularité de cette chaleur est d'être générée lors de l'élaboration d'un procédé dont le but n'est pas initialement de la produire. Généralement, la chaleur émise est perdue, car il existe très peu de systèmes pouvant valoriser cette production involontaire. Le chauffage urbain entre dans cette catégorie. Il est même considéré comme le moyen le plus efficace pour récupérer cette source d'énergie. Afin d'exploiter la chaleur de récupération, l'usine doit mettre en place un système de récupération, de transformation et de nettoyage de la chaleur. La figure 15 montre un système de récupération de la chaleur dans une usine d'incinération.

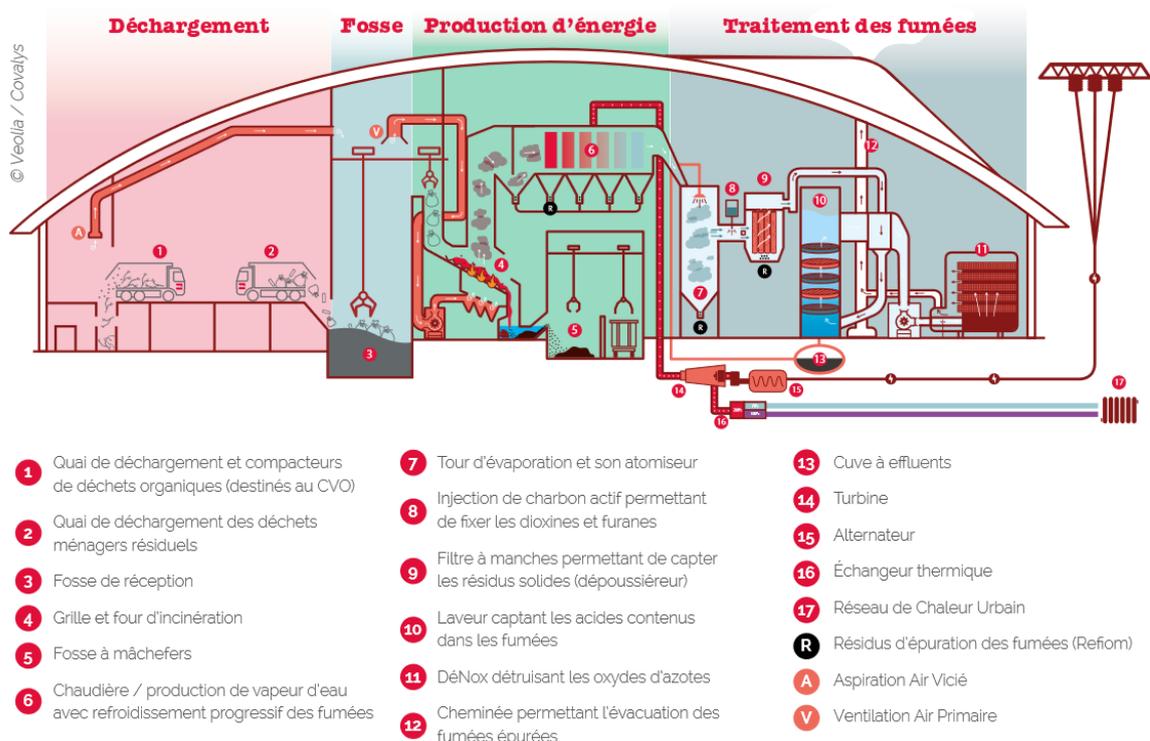


Figure 15 : Système de récupération de la chaleur - Sources : VEOLIA/COVATYS

Grâce à cette valorisation, l'usine devient l'unité de production et le point de départ du réseau de distribution. L'usine possède deux options : soit l'usine est autoconsommatrice de l'énergie qu'elle produit, soit elle distribue la chaleur à d'autres bâtiments.

L'usine est autoconsommatrice

Dans cette hypothèse, l'usine produit une quantité de chaleur fatale ne permettant pas la distribution de l'énergie à d'autres bâtiments, car elle ne pourrait pas satisfaire les besoins des usagers ou respecter la densité thermique. Cependant, elle peut mettre en place ce système afin d'utiliser elle-même la chaleur récupérée.

La mise en place de ce système permet à l'usine de récupérer la chaleur dans le but d'alimenter d'autres fonctions, telles que les ballons d'eau chaude ou les radiateurs. Ce système interne permet à l'usine de réduire ses besoins de chaleur externe et ses factures liées aux besoins de chaleur.

L'usine distribue la chaleur de récupération

La distribution de la chaleur fatale est envisageable si la quantité de chaleur est suffisante aux besoins du quartier raccordé. La densité thermique doit également être respectée et la pérennité de la source doit être vérifiée. Dans cette hypothèse, l'usine est considérée comme étant l'unité de production du réseau. La distribution de chaleur peut être distribuée :

- Exclusivement à des bâtiments n'appartenant pas à l'usine
- A des bâtiments extérieurs à l'entreprise et ceux de l'usine.

Dans la seconde possibilité, le taux de foisonnement du projet est amélioré. En effet, l'usine produit de la chaleur et l'exploite durant la journée, alors que les habitations raccordées au réseau utilisent la chaleur essentiellement le soir et le matin. Afin de donner un exemple concret d'aménagement, nous pouvons imaginer que d'une part l'usine exploite sa chaleur fatale afin de répondre à ses besoins et d'autre part alimente des logements de fonctions à proximité, comme peut l'illustrer la figure 16.

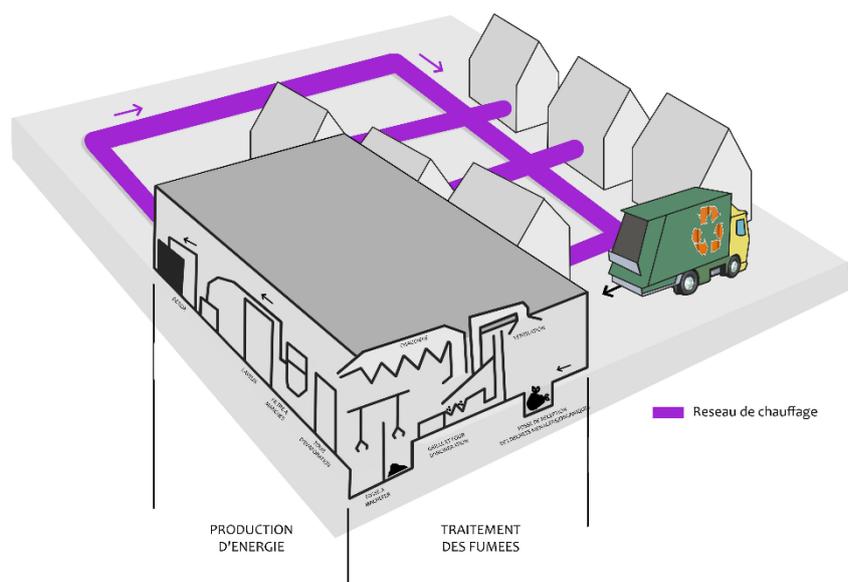


Figure 16 : Schéma représentant l'exploitation de la chaleur par une usine d'épuration et les habitants – Illustration : HERVÉ F. & LE HOUEDÉC G., 2020

Dans les deux hypothèses évoquées, le financement est principalement supporté par l'usine. Lorsque le système est prévu pour distribuer la chaleur uniquement en interne, l'usine supporte la globalité des coûts. Dans l'hypothèse où l'usine est considérée comme l'unité de production, elle finance la mise en place des équipements nécessaires à la récupération de la chaleur et le financement de la maintenance. De plus, elle supporte une grande partie des frais de mise place du réseau lorsqu'elle est l'utilisateur consommant le plus d'énergie.

En contrepartie de ces frais de mise en œuvre et de maintenance, l'usine diminue ses factures de chaleur. Par ailleurs, lorsque la chaleur est distribuée à des bâtiments extérieurs, l'usine reçoit en compensation la rémunération due aux usages des autres consommateurs.

Le mix énergétique des réseaux de chaleur de ce scénario est illustré par le tableau 5. L'utilisation d'une chaleur de récupération ne nécessite pas l'exploitation d'une autre source d'énergie. Toutefois, il peut être intéressant d'installer un système solaire en compensation afin de prévenir les baisses de productions et les éventuelles pannes techniques.

Réseau de chaleur à proximité d'une usine produisant de la chaleur de récupération	
Géothermie	
Solaire	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si le souhait est de mettre des panneaux thermiques ou mixtes sur l'usine, il est nécessaire de faire attention à son orientation. ✓ Température de la chaleur élevée, ne nécessitant pas le besoin de système pour rehausser la température. ✓ Permet d'exploiter une ressource dont les habitations mal orientées ne pourraient pas profiter. ✓ Si l'usine possède une grande toiture.
Biomasse	
Récupération de chaleur	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation en interne ou distribution à plusieurs bâtiments extérieurs à l'usine. ▪ Il faut vérifier la pérennité de la ressource. ✓ Permet de valoriser une énergie qui aurait dû être perdue sans la mise en place du réseau de chaleur. ✓ N'émet pas de CO₂. ✓ Les Réseaux de chaleur sont le meilleur système pour récupérer la chaleur fatale.
Biométhane	
Énergie conventionnelle	<ul style="list-style-type: none"> • Permet l'alimentation d'un système d'appoint. ▪ Ne permet pas la viabilité d'un réseau de chaleur du point de vue de la sobriété énergétique.

Tableau 5 : Mix énergétique du scénario 2, proximité d'une usine produisant de la chaleur fatale – Source : F.HERVÉ, 2020

Dans ce scénario, le réseau de chaleur est la meilleure solution pour récupérer la chaleur fatale de l'usine. Cependant, il est nécessaire de s'assurer de la pérennité de la ressource et la quantité de chaleur pouvant être distribuée. Lorsque les conditions de ce scénario sont réunies, la viabilité d'un réseau de chaleur est assurée. Les projets de faible ampleur entrent dans le

potentiel d'exploitation de cette ressource, car ils demandent une quantité de chaleur moins importante que des projets plus grands. De plus, les utilisateurs extérieurs consomment à des horaires différents de celles du fonctionnement de l'usine, permettant ainsi d'améliorer le taux de foisonnement du projet.

II.3.3.3 Mise en place d'un réseau de chaleur dont un des utilisateurs est un « gros consommateur »

Le terme « gros consommateur » désigne un usager du réseau demandant une production de chaleur importante et équilibrée sur l'année. Les bâtiments entrant dans cette catégorie sont par exemple, les EPAHD, les commerces, les crèches, les écoles, les piscines ou les laveries. Ces structures sont régulièrement intégrées dans des projets de chauffage urbain, car la présence permet d'améliorer le taux de foisonnement du projet. En effet, leurs besoins sont pratiquement homogènes sur l'année. Par ailleurs, la consommation de ces bâtiments s'inscrit dans des horaires généralement différents de celle des bâtiments à usage d'habitation. Les pics de consommation des immeubles à usage d'habitation s'inscrivent entre 18 heures et minuit avec un second pic entre de 6 et 7 heures. A contrario, les « gros consommateurs » vont avoir des besoins plus importants entre 6 heures et 18 heures.

L'étalement des besoins de chaleur sur la journée permet de lisser les pics de consommation et d'utiliser plus régulièrement la chaufferie à son potentiel maximum. La présence de ce consommateur permet également d'augmenter la densité thermique du projet. Sa présence participe à réduire l'étendue du réseau de chaleur pour atteindre le seuil minimum de la densité thermique. La figure 17 a pour but d'illustrer la densité de chaleur desservie sur une journée avec ou non la présence d'un bâtiment « gros consommateur ».

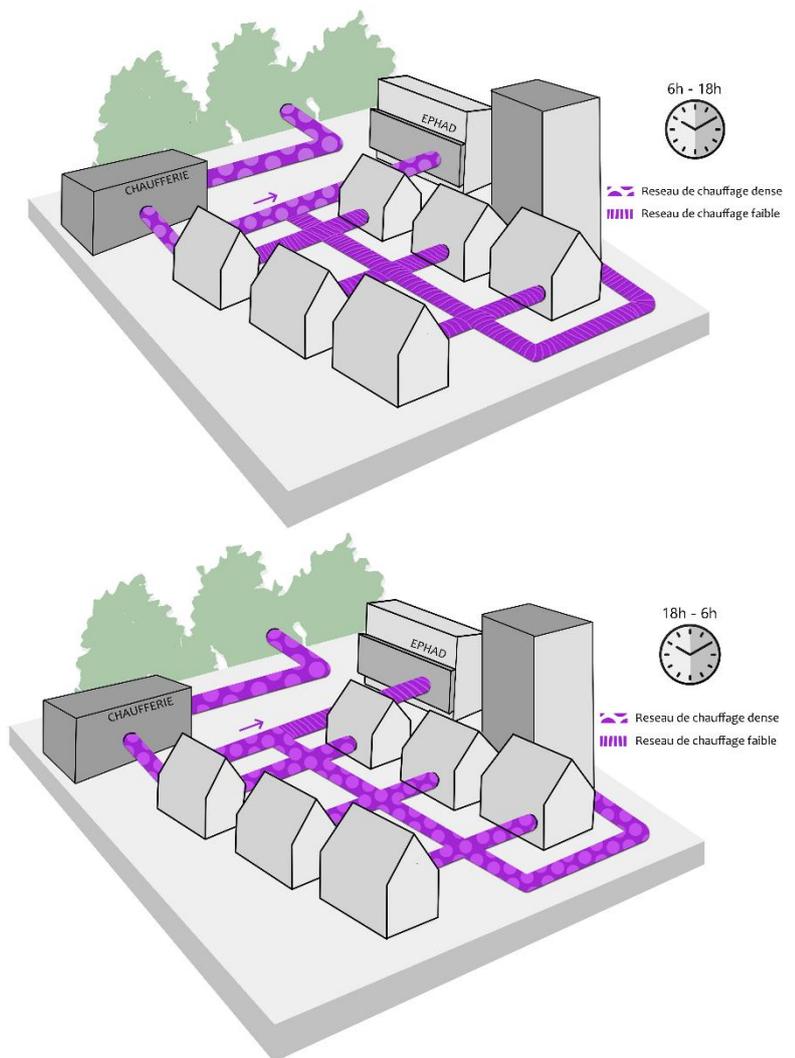


Figure 17 : Schéma illustrant la densité de chaleur desservie aux divers horaires de la journée - Illustration : HERVÉ F. & LE HOUEDÉC G., 2020

Le « gros consommateur » donne les caractéristiques spécifiques aux réseaux de chaleur. La quantité et la température de la chaleur nécessaire conditionnent le dimensionnement du réseau et la source énergétique exploitée. Par exemple, une laverie demande une chaleur dont la température dépasse les 110°. Dans ce cas, un réseau d'eau surchauffée doit être privilégié et l'utilisation de la géothermie très basse énergie est proscrite.

Le tableau 6 regroupe les avantages et inconvénients des sources énergétiques pour un réseau chaleur lors de la présence d'un « gros consommateur ».

		Réseau de chaleur possédant un « gros consommateur »
Géothermie	Profonde	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peu présent sur le territoire français. ▪ Utilisé essentiellement pour produire de l'électricité.
	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilisation de pompes à chaleur géothermique selon la température extraite et celle demandée. ▪ Pas exploitable sur l'ensemble du territoire. ▪ Les besoins de chaleur ne doivent pas excéder 150°C. ✓ Permet de distribuer de la chaleur et du froid. ✓ La température de chaleur extraite peut correspondre à divers usages
	Très basse énergie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilisation de pompes à chaleur géothermique selon la température extraite et celle demandée. ▪ Les besoins de chaleur ne doivent pas excéder 55°C. ✓ Permet de distribuer de la chaleur et du froid. ✓ La température de chaleur extraite peut correspondre à divers usages. ✓ Limite les pertes thermiques lors du transport de la chaleur.
Solaire		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Attention à l'orientation des toitures. ▪ Demande un support foncier, si le souhait est de placer les panneaux dans un parc solaire. ✓ Température de la chaleur élevée, donc pas besoin de système pour rehausser la température. ✓ Permet d'exploiter une ressource dont les habitations mal orientées ne pourraient pas profiter. ✓ Le consommateur possède une grande toiture permettant l'alimentation de la chaufferie.
Biomasse		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demande un support foncier supplémentaire pour le stockage des plaquettes. ▪ Il faut s'assurer de la pérennité de la ressource. ✓ Favorise l'économie circulaire. ✓ Valorise une matière qui aurait été perdue.
Récupération de chaleur		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Il faut s'assurer de la pérennité de la ressource. ▪ Le bâtiment produisant cette ressource doit être proche pour limiter les pertes thermiques. ✓ Permet de valoriser une énergie qui aurait dû être perdue sans la mise en place du réseau de chaleur. ✓ N'émet pas de CO₂. ✓ Le réseau de chaleur est le meilleur système pour récupérer la chaleur fatale.
Énergie conventionnelle		<ul style="list-style-type: none"> • Permet l'alimentation d'un système d'appoint. ▪ Ne permet pas la viabilité d'un réseau de chaleur du point de vue de la sobriété énergétique.

Tableau 6 : Mix énergétique du scénario 3, présence d'un « gros consommateur » – Source : F.HERVÉ, 2020

Le tableau 6 nous indique que l'ensemble des énergies positives, à l'exception du biométhane qui est réservé au réseau de gaz, sont favorables aux réseaux de chaleur. Dans le cas où le « gros consommateur » ne nécessite pas une température importante, il est préférable

de privilégier les énergies basse température afin de réduire les pertes thermiques lors du transport de la chaleur.

D'un point de vue financier, la présence d'un « gros consommateur » est un avantage en comparaison avec les autres usagers. En effet, le consommateur principal supporte une part importante des frais de mise en œuvre.

Dans ce scénario, l'aménagement d'un réseau de chaleur pour alimenter une dizaine d'habitations et un ou plusieurs « gros consommateurs » est une proposition viable. La présence de ce consommateur spécifique permet de réunir deux caractéristiques essentielles à la viabilité d'un réseau de chaleur : la densité thermique et la mixité d'usage. Les besoins importants de ce consommateur permettent d'utiliser le réseau sur l'ensemble de l'année (été et hiver).

II.3.3.4 Mise en place d'un réseau de chaleur dans un quartier résidentiel

Un quartier résidentiel est un quartier où la fonction prépondérante des bâtiments est l'habitat. Ce type de quartier possède une faible mixité d'usage dont la demande de chaleur se situe dans une tranche horaire similaire pour l'ensemble des constructions.

Une part importante des projets d'habitation de faible ampleur sont organisés sous la forme de lotissement ou peuvent toucher les hameaux dans le secteur rural.

Cette hypothèse de quartier résidentiel peut regrouper soit des habitations existantes, soit de futures habitations. Cette distinction est essentielle pour vérifier la viabilité d'un réseau de chaleur, car ce dernier est envisagé à des phases différentes du projet et conditionne le taux de raccordement des bâtiments au réseau

Mise en place d'un réseau de chaleur dans une zone composée de bâtiments existants

Dans ce scénario, les bâtiments sont déjà construits et possèdent leur propre système de chauffage. Ce système peut être collectif ou individuel, son alimentation peut provenir de source conventionnelle, renouvelable ou électrique. Cette présence antérieure au projet de réseau de chaleur complique la viabilité des futurs systèmes du chauffage urbain. Bien que les conditions de viabilité puissent être réunies (sources d'énergie renouvelable, densité thermique minimum, mixité d'usage, etc.), il n'existe pas de réelle obligation de raccordement pour ces bâtiments. Actuellement, le seul système obligeant le raccordement d'un bâtiment existant au réseau de chauffage urbain est le classement administratif du réseau combiné à l'intervention des usagers (réalisation des travaux de rénovations importantes, ou changement de leur système de chauffage).

Cette structure de quartier entraîne une difficulté dans la viabilité du réseau de chaleur, car la garantie du taux d'habitation raccordé est incertaine. Afin d'assurer un taux de raccordement suffisant, il est nécessaire au détenteur du projet d'effectuer une démarche de communication sur ce système. L'échange est à l'initiative du détenteur du projet afin de se rapprocher des éventuels utilisateurs du système. La communication doit permettre aux futurs usagers de mesurer l'intérêt, les avantages, et les aides financières possibles liés au chauffage urbain. À la suite de ces échanges, le détenteur du projet peut estimer le nombre de bâtiments raccordés au projet (notamment grâce à des promesses de raccordement) et vérifier si ces accords remplissent les critères de viabilité d'un chauffage urbain.

Cependant, bien que le réseau puisse être alimenté par des énergies positives et remplisse théoriquement la densité thermique, les frais des travaux de raccordement au réseau de chaleur sont relativement importants et ont tendance à freiner l'enthousiasme des propriétaires des bâtiments existants. Le montant des travaux prend en compte la canalisation, le raccordement au réseau, ainsi que la possibilité de devoir changer leur système interne de chauffage (plomberie, radiateur, etc.)

La réalisation d'un réseau de chaleur dans un quartier comportant des bâtiments existants rend aléatoire la viabilité de celui-ci. Dans ces circonstances où le projet est réalisé sans l'assurance des propriétaires à opter pour ce mode de chauffage, le financement peut prendre plusieurs années avant d'être amorti. Il est également possible que le réseau soit abandonné par manque de rentabilité.

Mise en place d'un réseau de chaleur dans un projet d'aménagement

Ce scénario permet d'étudier l'intérêt du chauffage urbain lors de l'étude d'un projet d'aménagement d'un quartier résidentiel. Généralement, la viabilité de ce mode de chauffage est étudiée lors des phases d'opportunité et de faisabilité du projet de construction. Cette hypothèse permet d'étudier l'impact d'un réseau de chaleur avant la construction des bâtiments.

Le réseau de chaleur peut être étudié selon deux temporalités par rapport à cette hypothèse.

La première possibilité suppose l'anticipation de la collectivité à créer un réseau de chaleur sur une zone classée « zone à urbaniser » de son PLU(i). Grâce à cette anticipation, la collectivité réalise la mise en œuvre du réseau, puis le classement administratif de celui-ci. Le classement oblige le raccordement de toutes les nouvelles constructions. Le risque attaché à

cette anticipation est le temps d'attente entre la réalisation du réseau et celle d'un projet de construction.

La seconde possibilité est l'appel à projet d'aménagement d'un réseau de chaleur, soit parce que cette solution est la plus favorable, soit pour améliorer les retombées énergétiques du projet. Cette solution permet l'anticipation des besoins et permet de satisfaire au maximum les critères favorisant le réseau de chaleur. De cette manière, le projet de construction comporte une mixité fonctionnelle, ainsi qu'une densité urbaine respectant les règles d'urbanisme et favorisant la densité thermique pour le réseau. Par ailleurs, cette organisation permet de mettre en avant les performances thermiques des futurs bâtiments, notamment en limitant leurs déperditions thermiques. Ces pertes peuvent être réduites grâce à une bonne isolation, une limitation des ponts thermiques, une bonne imperméabilité de l'air, l'utilisation de triple vitrage et une ventilation double flux.

Le potentiel d'un système de chauffage urbain couplé à la mise en place d'un nouveau quartier permet d'optimiser le taux de raccordement et d'agir sur les divers critères de viabilité.

Les différentes hypothèses indiquent que la mise en place d'un réseau de chaleur dans un quartier résidentiel dépend de la catégorie des bâtiments (existants ou neufs) dont est tributaire le taux de raccordement.

Du point de vue financier, les travaux selon ces différents scénarios sont répartis proportionnellement à la charge de chaleur consommée par les usagers. Dans un quartier résidentiel, les demandes de chaleur sont généralement homogènes, l'investissement est alors lissé entre les différents usagers et le propriétaire du réseau.

Le mix énergétique utilisé dans cette organisation peut prendre diverses formes. L'ensemble des sources renouvelables peuvent permettre l'alimentation du réseau de chaleur.

Le tableau 7 décrit les différents avantages et inconvénients des sources renouvelables.

		Réseau de chaleur dans un quartier résidentiel
Géothermie	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilisation de pompes à chaleur géothermique selon la température extraite et celle demandée. ▪ Pas exploitable sur l'ensemble du territoire. ✓ Permet de distribuer de la chaleur et du froid. ✓ La température de chaleur extraite peut correspondre à divers usages. ✓ Les besoins de chaleur ne dépassent pas 150°C dans ces quartiers.
	Très basse énergie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilisation de pompes à chaleur géothermique selon la température extraite et celle demandée. ▪ Les besoins de chaleur ne doivent pas excéder 55°C. ✓ Permet de distribuer de la chaleur et du froid. ✓ La température de chaleur extraite peut correspondre à divers usages. ✓ Limite les pertes thermiques lors du transport de la chaleur.
Solaire		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Attention à l'orientation des toitures. ▪ Demande un support foncier, si le souhait est de placer les panneaux dans un parc solaire. ▪ Température de la chaleur élevée par rapport aux besoins de ces consommateurs ✓ Permet d'exploiter une ressource dont les habitations mal orientées ne pourraient pas profiter.
Biomasse		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demande un support foncier supplémentaire pour le stockage des plaquettes. ▪ Il faut s'assurer de la pérennité de la ressource. ✓ Favorise l'économie circulaire. ✓ Valorise une matière qui aurait été perdue.
Récupération de chaleur		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Il faut s'assurer de la pérennité de la ressource. ▪ Le bâtiment produisant cette ressource doit être proche pour limiter les pertes thermiques. ✓ Permet de valoriser une énergie qui aurait dû être perdue sans la mise en place du réseau de chaleur. ✓ N'émet pas de CO₂.
Énergie conventionnelle		<ul style="list-style-type: none"> • Permet l'alimentation d'un système d'appoint. ▪ Ne permet pas la viabilité d'un réseau de chaleur du point de vue de la sobriété énergétique.

Tableau 7 : Mix énergétique du scénario 4, quartier résidentiel – Source : F.HERVÉ, 2020

A la lecture du tableau 7, nous pouvons remarquer qu'une source d'alimentation est à privilégier. En effet, les bâtiments à usage d'habitation ont des besoins en faible température de chaleur. Dans ce scénario, il est préférable de favoriser les sources à basse température, telles que la géothermie très basse énergie ou les énergies de récupération. Les énergies basses températures possèdent deux avantages :

- Réduire les pertes thermiques lors du transport
- Produire de la chaleur ou du froid dans les bâtiments desservis.

Bien que ces systèmes nécessitent l'appui d'une pompe à chaleur, le coût de cette installation supplémentaire est négligeable au vu des gains énergétiques.

L'utilisation d'un réseau de chaleur dans des quartiers résidentiels est un avantage pour la distribution d'énergie renouvelable. Cependant, la viabilité de ce système est aléatoire, étant

en fonction du taux de raccordement généralement incertain. Cette incertitude doit être réduite par une communication du système et de ses bénéfices environnementaux. Pour assurer un taux de raccordement, le projet doit comporter dans son périmètre un réseau de chaleur classé administrativement ou concevoir le projet en anticipant la mise en place d'un réseau de chaleur.

Bien que toutes les sources d'énergie positive soient exploitables, les énergies basses températures sont préférables, car elles sont plus viables dans cette organisation.

II.3.4 Conclusion des scénarios

La présentation de ces scénarios illustre que la rentabilité et la viabilité d'un réseau de chaleur peuvent être assurées au sein d'opérations de faible ampleur, et que cela s'étudie au cas par cas. Les caractéristiques de ce système peuvent permettre de distribuer des énergies renouvelables ou de récupération, non exploitables ou difficilement exploitables par un consommateur individuel, telles que la biomasse sous forme de plaquettes forestières par exemple, ou la chaleur fatale d'une industrie. La mutualisation du mode de chauffage étudié à l'échelle d'un quartier encourage les usagers à privilégier un chauffage vertueux et à se répartir les coûts d'installation.

Les conditions optimales pour valoriser le chauffage urbain à cette échelle sont d'organiser un quartier comportant un « gros consommateur » et de favoriser la mixité sociale et fonctionnelle. Cette organisation implique de réunir au sein du quartier des habitants et occupants ayant des plages horaires d'utilisation variées, participant au lissage de la demande de chaleur sur la journée. Cette régulation de la demande encourage le fonctionnement optimum et régulier de la chaudière en lissant la consommation énergétique. Par ailleurs, l'utilisation des ressources locales réduit l'impact environnemental dû au transport et valorise des ressources qui auraient été potentiellement perdues. Les sources basses températures sont à privilégier dès que possible pour réduire les pertes thermiques et améliorer la sobriété du réseau.

Conclusion

La maîtrise de l'énergie est un enjeu majeur de nos sociétés contemporaines. Elle doit évoluer afin de réduire drastiquement la dépendance aux énergies fossiles tout en garantissant la continuité de service due au citoyen. Les opérations d'aménagement appellent à la fourniture de besoins énergétiques, tels que l'électricité, le gaz, la chaleur et le froid. La conception de ces opérations devra adapter les systèmes d'alimentation énergétique afin de prendre en compte les enjeux de la loi relative à la transition énergétique (LTECV) qui souhaite à la fois réduire la consommation des énergies conventionnelles (gaz, fioul) et augmenter la part des énergies renouvelables et de récupération. Les urbanistes, en tant qu'aménageurs-concepteurs du territoire doivent intégrer cet enjeu et déployer des projets ayant une réflexion approfondie sur les énergies. Ce constat impose une réflexion et une mise en œuvre importante sous la direction de tous les acteurs de l'aménagement afin de proposer des solutions alliant le développement spatial optimisé et l'efficacité énergétique.

Le chauffage occupe une place prépondérante dans la consommation globale d'énergie tout en ayant une fonction indispensable au confort des usagers. La recherche de sa sobriété est essentielle au vu des enjeux énergétiques. Pour atteindre ces objectifs, l'organisation des opérations d'aménagement doit utiliser la mutualisation des réseaux. Afin de répondre aux attentes de la LTECV, l'utilisation du système de réseau de chaleur doit être envisagée, car il possède des caractéristiques de mutualisation et est compatible avec les différentes énergies renouvelables.

Cependant, les pertes thermiques générées par la distribution de la chaleur ont un impact négatif sur la rentabilité des performances énergétiques des réseaux de chaleur, particulièrement lorsqu'ils sont de faible ampleur et alimentés par des énergies conventionnelles. L'étude des réseaux de chaleur a permis de vérifier les conditions dans lesquelles les réseaux de faible ampleur peuvent gagner en viabilité.

La viabilité d'un réseau de chaleur est liée à l'utilisation d'énergie positive locale et au respect des quatre critères de viabilité (densité thermique, mixité fonctionnelle, densité urbaine et performance thermique des bâtiments). Le mix énergétique, majoritairement composé d'énergie vertueuse, bien souvent grâce à des énergies basse température, permet aux projets de faible ampleur de mettre en œuvre un réseau de chaleur satisfaisant du point de vue de la

sobriété thermique et de la viabilité économique. La composition du mix énergétique interagit avec les caractéristiques et l'organisation des aménagements de l'opération. Le but de cette adaptation est d'améliorer au maximum le projet afin de répondre aux critères de viabilité d'un réseau, tels que le lissage de la consommation et la densité urbaine. Par ailleurs, la définition du mix énergétique du réseau permet de répondre aux demandes de chaleur les plus importantes et d'adapter les systèmes de distribution selon la température du fluide livré.

La viabilité d'un réseau de chaleur au sein de projets de faible ampleur passe par la recherche de mixité fonctionnelle et de densité thermique. Par conséquent, le réseau de chaleur doit être envisagé le plus en amont possible afin de contrôler et adapter l'organisation du projet à son fonctionnement optimum. Son anticipation oblige les différents acteurs du territoire à se coordonner et encourage la mutualisation des travaux, notamment ceux concernant la voirie. Par ailleurs, la programmation du réseau permet aux collectivités d'initier une communication citoyenne afin d'encourager le raccordement de bâtiments existants.

La mutualisation des réseaux peut participer aux objectifs globaux de sobriété énergétique, particulièrement s'ils sont concertés par tous les acteurs et dimensionnés afin de répondre aux besoins de chaque usager. Ces solutions permettront, d'une part, de poursuivre l'ambition vertueuse de lutte contre le réchauffement climatique en réduisant nos émissions des gaz à effet de serre, et d'autre part de garantir un cadre de vie harmonieux aux citoyens de demain.

Le déploiement des réseaux de chaleur, couplé aux énergies renouvelables et de récupération est une opportunité afin de rendre plus vertueux le chauffage français et le mix énergétique national. Sa mise en place participe à réduire les quantités d'énergie fossile et d'électricité utilisées. Les boucles électriques solidaires doivent également permettre de poursuivre l'amélioration de la sobriété énergétique en complément des réseaux de chaleur. Ces deux approches doivent être combinées, car la mutualisation des réseaux est un enjeu important permettant d'augmenter le recours aux énergies renouvelables.

La prise en compte de ces objectifs devrait permettre de favoriser la transition énergétique au sein de projets d'aménagement, quelles que soient leurs tailles, car la lutte contre les effets du changement climatiques nécessite l'investissement de chacun d'entre nous.

Bibliographie

Ouvrages

- ❖ ADEME, 2015. *SMART GRID* : [en ligne]. ADEME, 23 p.
Disponible sur :
<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/smartgrids_savoir_faire_francais_.pdf>. (Consulté le 02.03.2020).

- ❖ ADEME, 2016. *Élus, l'essentiel à connaître sur les PCAET* : [en ligne]. ADEME, 16 p.
Disponible sur :
<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/elus_1_essentiel_pcaet_2016_ref_8832.pdf>. (Consulté le 16.03.2020).

- ❖ ADEME, 2016. *PCAET : comprendre, construire et mettre en œuvre* : [en ligne]. ADEME, 87 p.
Disponible sur : <<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pcaet-comprendre-construire-et-mettre-en-oeuvre.pdf>>. (Consulté le 14.03.2020, 16.03.2020, 18.03.2020).

- ❖ ADEME, 2017. *La chaleur fatale*. ADEME, 48 p

- ❖ ADEME, 2017. *INDUSTRIELS, Investissez dans la performance énergétique* : [en ligne]. ADEME, 8 p.
Disponible sur : <<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/industriels-investissez-performance-energetique-010320.pdf>>. (Consulté le 27.04.2020).

- ❖ ADEME, 2018. *Collectivités, entreprises : passez aux énergies renouvelables et de récupération* : [en ligne]. 12 p.
Disponible sur : <<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/dispositif-fonds-chaleur-010132.pdf>>. (Consulté le 24.02.2020).

- ❖ ADEME, 2019. *Les réseaux de chaleur et de froid : état des lieux de la filière* : [en ligne]. ADEME, 89 p.
Disponible sur : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/reseau-de-chaleur-etat-des-lieux-filiere_2019.pdf>. (Consulté le 20.03.2020, 19.04.2020).

- ❖ ADEME et AMORCE, 2015. *Schéma directeur d'un réseau de chaleur et de froid : Guide de réalisation* : [en ligne]. , 31 p.
Disponible sur : <<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/schema-directeur-reseau-chaleur-2015.pdf>>. (Consulté le 11.02.20, 18.03.2020).

- ❖ ADEME et AMORCE, 2017. *Guide de création d'un réseau de chaleur : éléments clés pour le maître d'ouvrage*. ADEME, 55 p.

- ❖ ADEME et AMORCE, 2017. *Prise en compte des réseaux de chaleur dans les réglementations thermiques*. ADEME, 16 p.

- ❖ ADEME et GRDF, 2020. *Le schéma directeur des énergies, conjuguer, mix énergétique, planification et urbanisme*. 64 p.
Disponible sur : <<https://www.grdf.fr/institutionnel/actualite/newsroom/liste/communiqués-presse/ademe-grdf-guide-sde>>. (Consulté le 6.04.2020).

- ❖ ADEME et VIA SEVA, 2009. *Guide de l'utilisateur du chauffage urbain* : [en ligne]. 23 p.
Disponible sur : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/20140407_Guide-usager-chauffage-urbain.pdf>. (Consulté le 14.02.2020).

- ❖ AFPG, 2013. *La géothermie en France, étude du marché en 2011*. 24 p.
Disponible sur : <http://www.afpg.asso.fr/wp-content/uploads/2015/04/AFPG_ETUDE2011_Vjuillet2013.pdf>. (Consulté le 27.04.20).

- ❖ AMORCE, 2017. *L'élu et les réseaux de chaleur*. 72 p.
Disponible sur : <<https://amorcer.asso.fr/publications/guide-l-elu-et-les-reseaux-de-chaleur-rcp25>>. (Consulté le 11.04.2020, 13.04.2020).

- ❖ AMORCE, 2017. *Prise en compte des réseaux de chaleur dans les réglementations thermiques*. 17 p.
Disponible sur : < <https://amorce.asso.fr/publications/prise-en-compte-des-reseaux-de-chaleur-dans-les-reglementations-thermiques-rct44-ent29>>. (Consulté le 11.04.2020, 03.05.2020).

- ❖ AUDIAR, 2019. *La planification énergétique urbaine. Tour d'horizon d'expériences territoriales innovantes et enseignements pour la métropole rennaise* : [en ligne]. AUDIAR, 16 p.
Disponible sur :
<<https://www.audiar.org/sites/default/files/documents/editeur/etudes/planification.pdf>>.
(Consulté le 09.03.2020, 18.03.2020).

- ❖ AUDIAR, 2019. *Synergie entre urbanisme et transition énergétique opérationnelle. Quelle méthode pour le territoire rennais* : [en ligne]. AUDIAR, 21 p.
Disponible sur :
<<https://www.audiar.org/sites/default/files/documents/editeur/etudes/synergie.pdf>>. (Consulté le 09.03.2020, 18.03.2020).

- ❖ BERRY M, 2017. *Les réseaux de chaleur dans les écoquartiers*. CEREMA Ouest, 47 p.

- ❖ CEREMA Ouest, 2017. *Etude du développement des énergies renouvelables dans les nouveaux aménagements*. 52 p.

- ❖ CEREMA Ouest, 2018. *Réseaux de chaleur et de froid*. CEREMA et Ministère de la Transition écologique et solidaire, 9 p.

- ❖ CETE Ouest, 2012. *Rapport : Place des réseaux de chaleur dans les nouveaux quartiers*. CETE Ouest, 49 p.

- ❖ Comité nationale des acteurs des réseaux de chaleur, 2014. *Les 9 propositions du comité national des acteurs des réseaux de chaleur*. L'union sociale pour l'habitat, 8 p.

- ❖ MEEM et Observatoire national DT DICT, 2016. *Guide d'application de la réglementation relative aux travaux à proximité des réseaux - Fascicule 2 Guide technique Version 2*, 230 p. Disponible sur : <https://www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr/gu-presentation/userfile?path=/fichiers/Guides_techniques/Fascicule2-Guidetechniquedestravaux-v2-2017-04-14.pdf>. (Consulté le 13.04.2020).

- ❖ MEEM, 2016. *Guide des principaux dispositifs d'aide pour la transition énergétique*. 15 p. Disponible sur : <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guides_des_dispositifs-4_cle5893ac.pdf>. (Consulté le 18.03.2020).

- ❖ OGE, 2010. *Eco + quartier = quartier durable : Sensibilisation et approche méthodologique*. Publi-Topex, 138 p.

- ❖ OGE, 2020. *Comment concilier urbanisme et performance énergétique*. Publi-Topex, 430 p.

- ❖ SGFC, 2018. *Recommandations pour des collectivités Smart Grids Ready*. ADEME, 80 p.

- ❖ Via SEVA, 2016/2017. *L'annuaire des réseaux de chaleur et de froid*. 350 p.

Travaux universitaires

- ❖ CLERO Jérémy. Les réseaux de chaleur en Bretagne : état des lieux et perspectives à partir de l'exemple du Danemark : [en ligne]. Master Science pour l'ingénieur, Parcours Energétique, Université de Bretagne-Sud, 2014, 41 p. Disponible sur : <<https://fr.slideshare.net/reseauxchaleur/rapport-chauffage-urbain-bretagne-danemark-clero>>. (Consulté le 07.02.2020).

- ❖ RAYCZAKOWSKI Sarah. Les réseaux de chaleur : de la planification à la réalisation : [en ligne]. Master juriste en droit de l'urbanisme et de l'aménagement, Université de Rennes 1, 2014, 79 p. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/les-reseaux-de-chaleur-de-la-planification-la-realisation-memoire-de-master>>. (Consulté le 11.02.2020, 19.04.2020).

Articles de périodiques imprimés

- ❖ GRISOT Paul (06.02.2020). Comment adapter la ville au changement climatique. *Ouest-France*, P.1
- ❖ RECOURT Glen (06.02.2020). Étendre le chauffage urbain pour baisser les émissions de CO₂. *Ouest-France*, P.1
- ❖ FEDENE et SNCU (2018).: Les réseaux de chaleur et de froid, chiffres clés, analyses et évolution. *Résultats de l'enquête annuelle*, **Edition 2018**, P1-68.

Articles de périodiques électroniques

- ❖ ADEME. *Les réseaux de chaleur alimentés par des énergies renouvelables et de récupération*. Les avis de l'ADEME, [en ligne], Décembre 2017. Disponible sur : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/avis_ademe_reseauxchaleur_2017_12.pdf>. (Consulté le 17.02.2020)

Articles professionnels

- ❖ ADEME. *Fonds de chaleur 2020 Une mesure majeure en faveur du développement des Énergies Renouvelables. Grandes orientations et modalités 2020* : [en ligne], 2019. Disponible sur : <<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/grandes-orientations-modalites-fonds-chaleur-2020.pdf>>. (Consulté le 24.02.2020)
- ❖ ADEME. *Les réseaux de chaleur* : [en ligne], 2017. Disponible sur : <<https://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-laction/transport-lenergie/reseaux-chaleur>>. (Consulté le 08.02.2020)
- ❖ ADEME et Kerdos Energy. *Chaudière biomasse et bois, déchet récupération de chaleur, réseau de chaleur et intégration thermique à l'échelle d'une plateforme chimique* : [en ligne], 2018. Disponible sur : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/retour-experience-osiris-chaudiere-biomasse_integration_enrr_2018.pdf>. (Consulté le 05.05.2020)

- ❖ ADEME OCCITANIE. *Récupération et valorisation de chaleur fatale chez ArcelorMittal à Saint-Chély-d'Apcher (48)* : [en ligne], 2018. Disponible sur : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/retour-experience-kyotherm_recuperation-valorisation-chaleur-fatale-2018.pdf>. (Consulté le 05.05.2020)

- ❖ CEREMA. *Aménagement et urbanisme* : [en ligne]. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/acces-par-theme-2/amenagement-urbanisme>>. (Consulté le 17.02.2020)

- ❖ CEREMA. *Carte nationale de chaleur - France* : [en ligne], 2015. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/carte-nationale-de-chaleur-france>>. (Consulté le 14.02.2020)

- ❖ CEREMA. *Énergies de récupération* : [en ligne], 2017. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/reseaux-de-chaleur-et-energies-de-recuperation>>. (Consulté le 09.03.2020)

- ❖ CEREMA. *Enjeux du développement des réseaux de chaleur* : [en ligne], 2011. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/enjeux-du-developpement-des-reseaux-de-chaleur>>. (Consulté le 11.02.2020)

- ❖ CEREMA. *Développement des réseaux de chaleur renouvelable : 4 axes* : [en ligne], 2012. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/developpement-des-reseaux-de-chaleur-renouvelable-4-axes>>. (Consulté le 11.02.2020)

- ❖ CEREMA. *Foisonnement* : [en ligne], 2012. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/foisonnement>>. (Consulté le 11.02.2020)

- ❖ CEREMA. *Fonds de chaleur et réseaux de chaleur* : [en ligne], 2011. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/fonds-chaleur-et-reseaux-de-chaleur>>. (Consulté le 24.02.2020)

- ❖ CEREMA. *Généralités sur la chaleur* : [en ligne], 2011. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/generalites-sur-la-chaleur>>. (Consulté le 11.02.2020)

- ❖ CEREMA. *Les réseaux de chaleur en France* : [en ligne], 2019. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/les-reseaux-de-chaleur-en-france>>. (Consulté le 14.02.2020)

- ❖ CEREMA. *Nos Axes thématiques* : [en ligne]. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/pole-reseaux-de-chaleur-cerema>>. (Consulté le 11.02.2020)

- ❖ CEREMA. *Prendre en compte les réseaux de chaleur dans les PCET* : [en ligne], 2015. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/la-prise-en-compte-des-reseaux-de-chaleur-dans-les-pcet>>. (Consulté le 14.03.2020)

- ❖ CEREMA. *Réaliser un schéma directeur de réseau de chaleur* : [en ligne], 2012. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/realiser-un-schema-directeur-de-reseau-de-chaleur>>. (Consulté le 11.02.2020, 18.03.2020)

- ❖ CEREMA. *Réseaux de chaleur – Coût et aides publiques* : [en ligne], 2011. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/reseaux-de-chaleur-couts-et-aides-publiques>>. (Consulté le 24.02.2020)

- ❖ CEREMA. *Réseaux de chaleur et bâtiments à énergie positive : perspective* : [en ligne], Juin 2014. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/reseaux-de-chaleur-et-batiments-a-energie-positive-perspectives>>. (Consulté le 14.02.2020)

- ❖ CEREMA. *Réseaux de chaleur et biomasse* : [en ligne], 2017. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/reseaux-de-chaleur-biomasse>>. (Consulté le 09.03.2020)

- ❖ CEREMA. *Réseaux de chaleur et nouveaux quartiers* : [en ligne], 2012. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/reseaux-de-chaleur-et-nouveaux-quartiers>>. (Consulté le 09.03.2020)

- ❖ CEREMA. *Un centre de ressources consacré aux « réseaux de chaleur »* : [en ligne], 2019. Disponible sur : <<https://www.cerema.fr/fr/actualites/centre-ressources-consacre-aux-reseaux-chaleur>>. (Consulté le 14.02.2020)

- ❖ CETE de l’Ouest. *Classer un réseau de chaleur* : [en ligne], 2013. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/classer-un-reseau-de-chaleur-ou-de-froid>>. (Consulté le 16.03.2020, 03.05.2020)

- ❖ CETE de l'Ouest. *Les nouvelles sources d'énergie pour les réseaux de chaleur* : [en ligne], 2012. Disponible sur : <<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/les-nouvelles-sources-denergie-pour-les-reseaux-de-chaleur>>. (Consulté le 09.03.2020, 27.04.2020)

Sites web

- ❖ #LicingCircular. Les smart grids, un outil pour piloter le réseau d'électricité, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.livingcircular.veolia.com/fr/industrie/les-smart-grids-un-outil-pour-piloter-le-reseau-deelectricite>>. (Consulté le 02.03.2020)
- ❖ ADEME. [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.ademe.fr>>. (Consulté le 27.03.2020, 06.04.2020)
- ❖ ADEME. La méthanisation, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.ademe.fr/expertises/dechets/passer-a-laction/valorisation-organique/methanisation>>. (Consulté le 24.05.2020)
- ❖ ADEUS. La transition énergétique ancrée dans les territoires, [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.adeus.org/productions/plateforme-dappui-a-la-transition-energetique-des-territoires>>. (Consulté le 09.03.2020, 14.03.2020, 20.03.2020)
- ❖ CDE. *Réseaux de chaleur* : [en ligne], 2015. Disponible sur : <<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/reseaux-de-chaleur>>. (Consulté le 08.02.2020)
- ❖ CLICQUOT DE MENTQUE Cécile. *La récupération d'énergie se conjugue avec l'abattement de polluants* : [en ligne], 2019. Disponible sur : <<https://www.actu-environnement.com/ae/news/lavage-fumees-industries-recuperation-chaleur-starklab-terraosave-33581.php4>>. (Consulté le 17.02.2020)
- ❖ Collectivité locale. Les documents d'urbanisme et les règles générales d'urbanisme, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.collectivites-locales.gouv.fr/documents-durbanisme-et-regles-generales-durbanisme#__RefHeading__114_1390438360>. (Consulté le 18.03.2020)

- ❖ Commission de régulation de l'énergie. Les Smarts Grids, [en ligne]. Disponible sur : <<http://modules-pedagogiques.cre.fr/m4/index.html>>. (Consulté le 16.03.2020)

- ❖ Connaissance des énergies. Bilan électrique de la France : que retenir de 2019, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.connaissancedesenergies.org/la-production-deelectricite-en-france-metropolitaine-tous-les-chiffres-cles-de-2019-200212-0>>. (Consulté le 27.03.2020)

- ❖ Dalkia. [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.dalkia.fr/fr>>. (Consulté le 11.02.2020, 25.03.2020)

- ❖ DREAL PACA. Définition d'un smart grid, réseau électricité, [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/definition-d-un-smart-grid-reseau-electrique-a8779.html>>. (Consulté le 02.03.2020)

- ❖ EDF. [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.edf.fr/>>. (Consulté le 27.03.2020)

- ❖ Energy Cities. La boîte à outils HOTMAPS, [en ligne]. Disponible sur : <<https://energy-cities.eu/fr/publication/the-hotmaps-toolbox/>>. (Consulté le 31.03.2020, 01.05.2020)

- ❖ Énergie Partagée. Carte des projets, [en ligne]. Disponible sur : <<https://energie-partagee.org/energie-citoyenne/tous-les-projets>>. (Consulté le 07.04.2020, 24.04.2020)

- ❖ FABRÉGAT Sophie. *Boucle d'eau tempérée : produire de la chaleur et du froid au plus près des besoins* : [en ligne], 2019. Disponible sur : <<https://www.actu-environnement.com/ae/news/boucle-eau-temperee-chaleur-renouvelable-besoins-33799.php4>>. (Consulté le 13.04.2020)

- ❖ Futura Planète. Quels sont les cinq types d'énergies renouvelables ?, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/energie-renouvelable-sont-cinq-types-energies-renouvelables-4134/>>. (Consulté le 25.03.2020)

- ❖ Gouvernement. Rénovation énergétique : les aides auxquelles vous pouvez prétendre?, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.economie.gouv.fr/particuliers/aides-renovation-energetique#Aides%20ANAH>>. (Consulté le 08.05.2020)

- ❖ GRDF. Biométhane : une source d'énergie renouvelable, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.grdf.fr/institutionnel/actualite/dossiers/energie-renouvelable>>. (Consulté le 24.05.2020)

- ❖ Jechange. Smart Grids : un pilotage intelligent des capacités du réseau électrique, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.jechange.fr/energie/electricite/guides/smart-grids-4108>>. (Consulté le 02.03.2020)

- ❖ L'énergie tout compris. [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.lenergiesoutcompris.fr/>>. (Consulté le 20.03.2020, 25.03.2020)

- ❖ Le Mené. La Route des Energies, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.mene.fr/la-route-des-energies/>>. (Consulté le 30.01.2020, 13.02.2020, 24.04.2020)

- ❖ Les Echos. Un réseau de chaleur nouvelle génération pour alimenter le campus urbain Paris Saclay, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.lesechos.fr/pme-regions/actualite-des-marches-publics/un-reseau-de-chaleur-nouvelle-generation-pour-alimenter-le-campus-urbain-paris-saclay-1028618>>. (Consulté le 07.05.2020)

- ❖ Légifrance. [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.legifrance.gouv.fr>>. (Consulté le 13.03.2020)

- ❖ MTES. Programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE) [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>>. (Consulté le 14.04.2020)

- ❖ Planète énergies. Qu'est-ce que le mix énergétique ?, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/qu-est-ce-que-le-mix-energetique>>. (Consulté le 24.02.2020)

- ❖ SigOptiq. SigOpti, [en ligne]. Disponible sur : <<https://github.com/sigopti/>>. (Consulté le 25.03.2020)

- ❖ U.S. Departement of energy. ABOUT US, [en ligne]. Disponible sur : < <https://building-microgrid.lbl.gov/about-us>>. (Consulté le 20.04.2020)
- ❖ Wikipédia. Électricité en France, [en ligne]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectricit%C3%A9_en_France>. (Consulté le 27.03.2020)

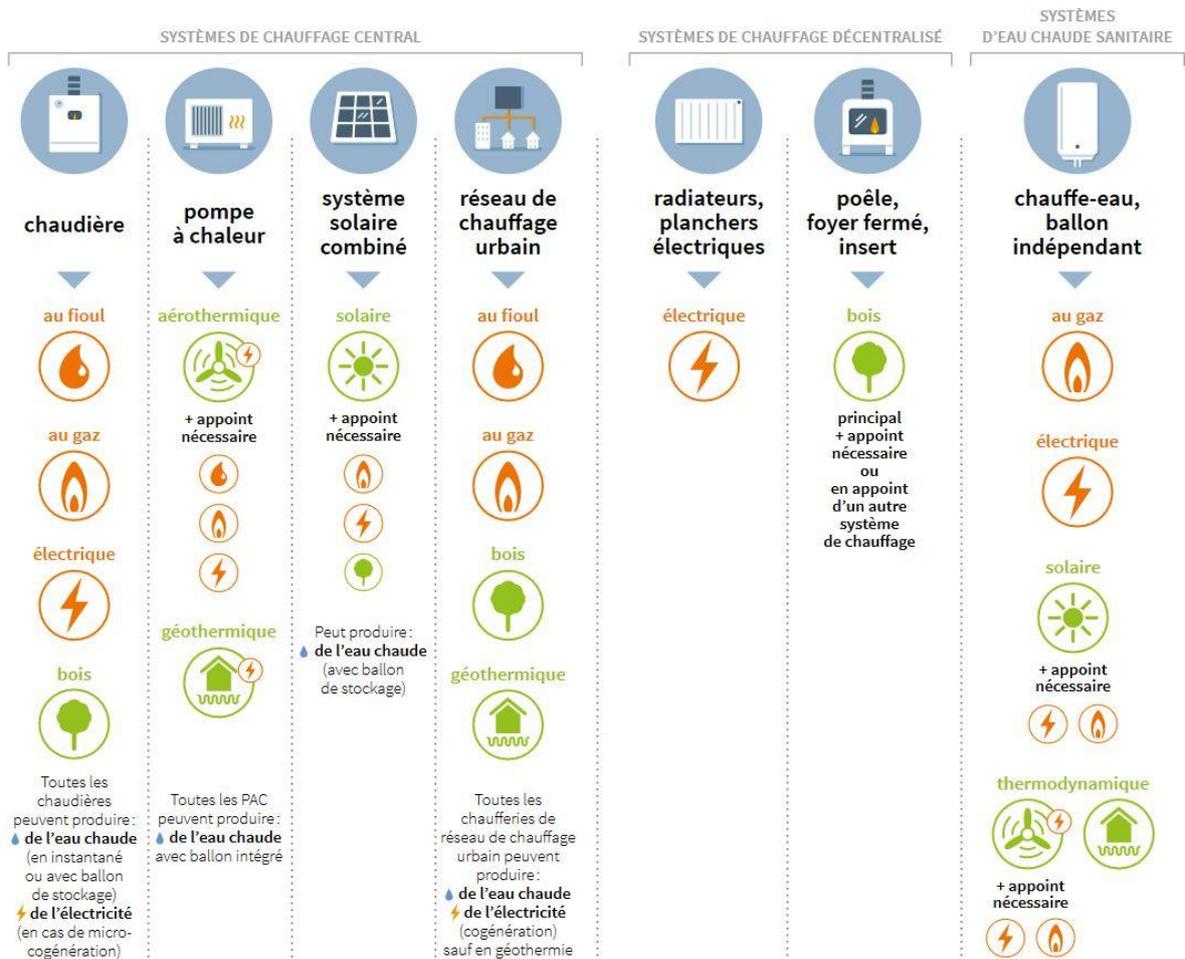
Echange et entretien

- ❖ AUDIAR. In : POQUET Johan (Géographe/géomaticien), Entretien Visio, 19 Mars 2020.
- ❖ CEREMA. In : BERRY Mathias (chargé d'études), MELFORT Cindy (chargé d'étude), Entretien Visio, 07.04.2020.
- ❖ Commune LE MENÉ. In : FILLATRE Énora (chargée de mission mobilité et développement durable) et PORÉE Kévin (ingénieur autonomie énergétique), Entretien, 14.04.2020.
- ❖ GRDF. In : GARNIER Maxime (ingénieur efficacité énergétique gaz naturel et ENR), Appel téléphonique, 07.05.2020.
- ❖ H3C. In : LEBRUN Simon (Chargé de Projets), RENEAUME Antoine (Responsable agence H3C Energies Ouest), Entretien Visio, 06.04.2020.
- ❖ NOBATEK/INEF4. In : HÉNON Aurélien (responsable d'équipe outils et système pour la performance énergétique), LOPEZ Jérôme (responsable du pôle innovation et valorisation), VIOT Hugo (ingénieur au pôle outils et système pour la performance énergétique), Entretien Visio, 25.03.2020.
- ❖ DALIBOT Nicolas (chargé de mission plan climat dans une collectivité rurale), Echange e-mail, 23.03.2020, 17.04.2020, 26.05.2020

Table des annexes

Annexe 1 : Les systèmes de chauffage.....	74
Annexe 2 : Les personnes publiques et leur rôle dans la transition énergétique	75
Annexe 3 : La hiérarchie des outils de l’urbanisme.....	76
Annexe 4 : Schéma de synthèse pour la mise en place d’un PCAET	77
Annexe 5 : Boîte à outils pour les documents d’urbanisme vis-à-vis des performances énergétiques	78
Annexe 6 : Schéma d’un réseau de chaleur	79
Annexe 7 : Principe du foisonnement	80
Annexe 8 : Catégorie des bâtiments depuis la réglementation thermique de 2007	81
Annexe 9 : Tableaux synthétique des réseaux de chaleur dans la réglementation thermique.....	82
Annexe 10 : Extrait Décret 2020-456 du 21 Avril 2020.....	84
Annexe 11 : Tableau synthèse des scénarios et des sources d’énergie	85

Annexe 1 : Les systèmes de chauffage



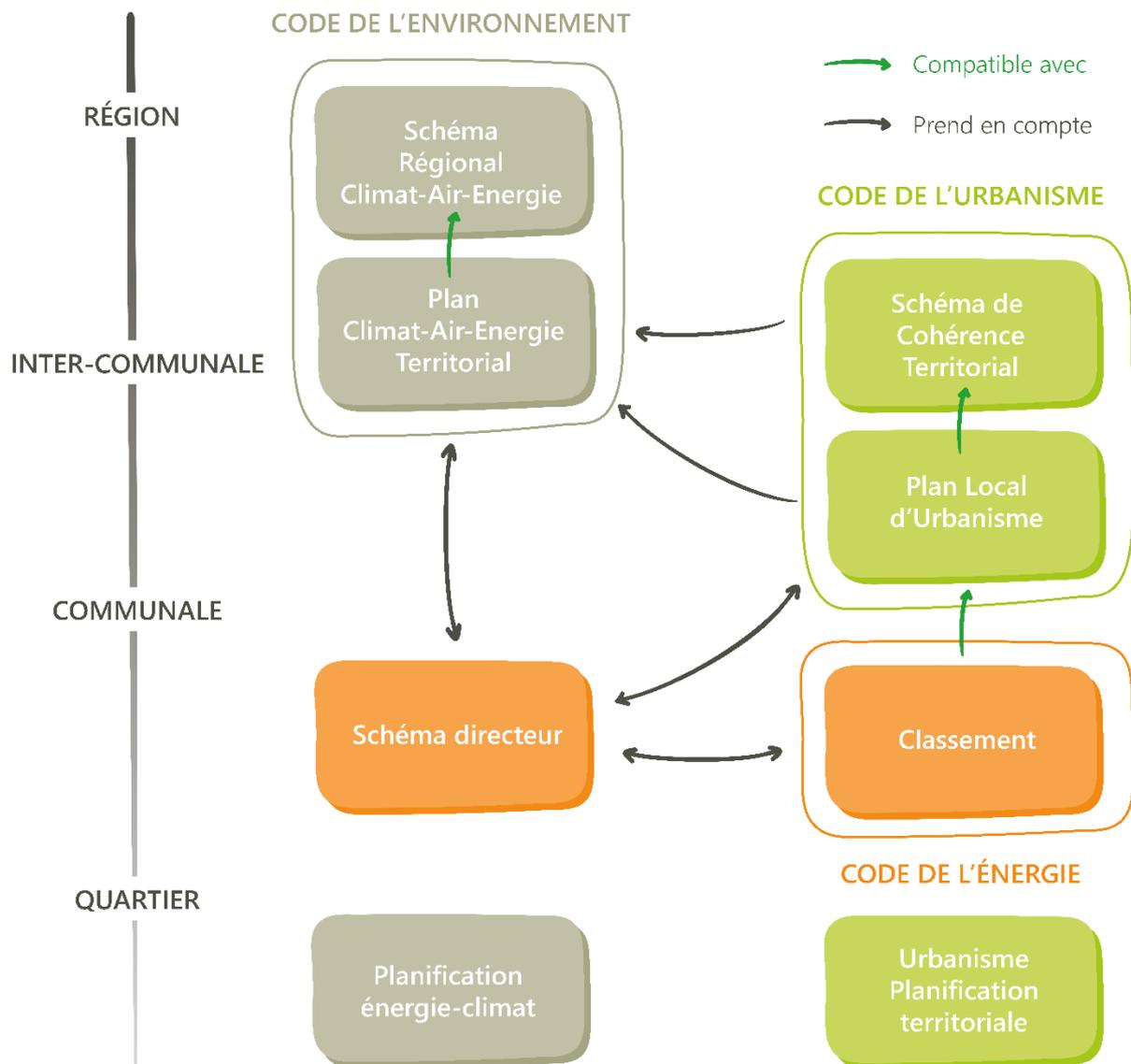
Source : ADEME, 2018. Se chauffer mieux et moins cher : [en ligne]. ADEME, 19 p.

Annexe 2 : Les personnes publiques et leur rôle dans la transition énergétique

	Production d'énergie renouvelable	Distribution d'énergie	Maîtrise de l'énergie
Région	<p><u>Stratégie</u> : volet air-climat-énergie du SRADDET, Schéma éolien, Schéma biomasse, Plan bois, Plan solaire</p> <p><u>Politiques sectorielles</u> : Soutien pour le développement de filières EnR, soutien à la recherche et innovation</p>		<p><u>Stratégie</u> : volet air-climat-énergie du SRADDET, SRDEII</p> <p><u>Politiques sectorielles</u> : Chef de file intermodalité, Schéma Régional intermodalité, Coordination des plateformes territoriales de la rénovation énergétique, Pôle de compétitivité</p>
Département			<p><u>Stratégie</u> : volet énergie du PDH</p> <p><u>Politiques sectorielles</u> : Chef de file Précarité énergétique</p> <p><u>Accompagnement des acteurs</u> : Incitation auprès des bailleurs sociaux (aides à la pierre), Sensibilisation du grand public</p>
EPCI/Syndicat mixte	<p><u>Stratégie</u> : volet énergie des SCoT, PLUi, PCAET</p> <p><u>Politiques sectorielles</u> : Aménagement ou exploitation de toute nouvelle installation de production d'EnR (compétence facultative)</p> <p><u>Accompagnement des acteurs</u> : Concertation autour des projets EnR, Sensibilisation du grand public</p>	Soutien au financement	<p><u>Politiques sectorielles</u> : Compétence d'autorité organisatrice des réseaux de distribution d'électricité par transfert de compétence par les communes (compétence obligatoire pour les métropoles et facultative pour les autres intercommunalités), Création, aménagement, entretien et gestion des réseaux de chaleur et de froid et des concessions de la distribution publique d'électricité et de gaz</p>
Commune	<p><u>Stratégie</u> : PLU communal</p> <p><u>Politiques sectorielles</u> : Accompagnement ou maîtrise d'ouvrage d'équipement d'EnR, notamment sur son patrimoine bâti (transférable au Syndicat départemental d'énergie)</p> <p><u>Accompagnement des acteurs</u> : Concertation autour des projets</p>	Aménagement sur son patrimoine bâti	<p><u>Politiques sectorielles</u> : Autorité organisatrice de la distribution d'énergie par les contrats de concession, en régie ou via une entreprise locale de distribution</p> <p><u>Politiques sectorielles</u> : Réalisation d'actions de maîtrise de l'énergie en tant que collectivité compétente en matière de distribution d'énergie, Actions relatives à la mobilité (gestion du stationnement, zones à circulation restreinte...)Éclairage public, Actions relatives à l'urbanisme (validation permis de construire...)</p>

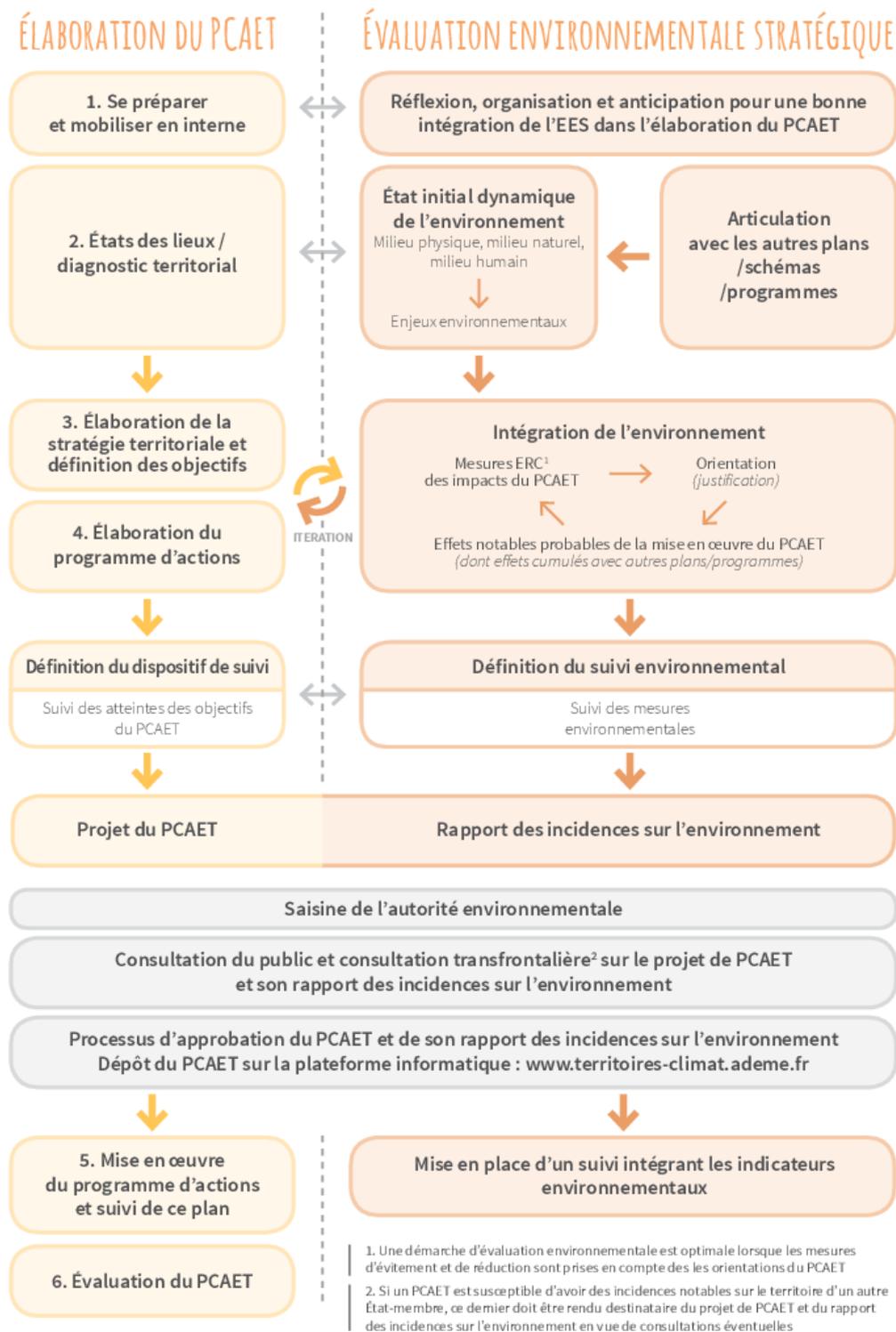
Source : Flavie HERVÉ, 2020 - Données : ADEUS. Quelle acceptabilité pour les projets d'énergies renouvelable ?, 2017.

Annexe 3 : La hiérarchie des outils de l'urbanisme



Données : ADEME, 2016 et CEREMA 2014 – Illustration : Claire MONTMIRL & Flavie HERVÉ, 2020

Annexe 4 : Schéma de synthèse pour la mise en place d'un PCAET



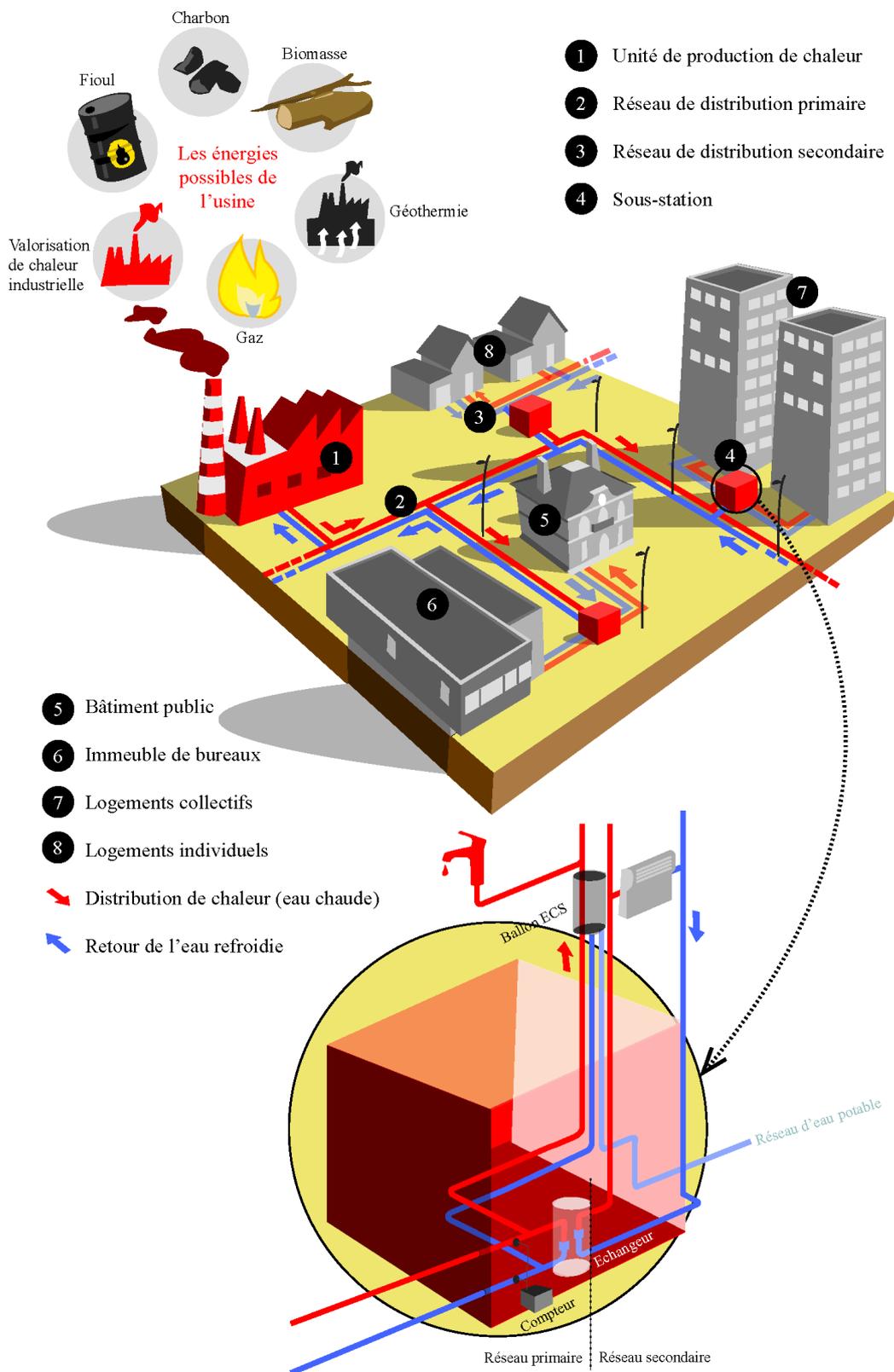
Source : l'ADEME ADEME, 2016. Élus, l'essentiel à connaître sur les PCAET : [en ligne]. ADEME, 16 p.

Annexe 5 : Boîte à outils pour les documents d'urbanisme vis-à-vis des performances énergétiques

	Thèmes	Règles écrites	Règles graphiques
Augmenter les sources d'énergie « verte »	Développer les énergies renouvelables	<ul style="list-style-type: none"> - Définir les ressources renouvelables et de récupération présentes sur le territoire - A l'échelle d'un quartier, il faut orienter son urbanisation au respect des performances énergétiques renforcé (par exemple : pourcentage d'EnR&R) - Favoriser les chaudières collectives et donc la mitoyenneté et les formes compact - Faciliter les raccordements aux réseaux de chaleur (extension, classement, ...) - Imposer au bâtiment d'avoir une source d'EnR alimentant leur construction - Permettre l'installation de sources renouvelables (panneaux solaire, éolienne) sur les habitations malgré certaines contraintes urbanistique - A l'échelle d'un bâtiment : offrir un avantage, un bonus, aux constructions respectant et étant un exemple dans la transition énergétique 	<ul style="list-style-type: none"> - Localiser les dispositifs de production d'énergie afin d'optimiser leur rendement - Délimiter un zonage où les habitations et les commerces devront respecter les performances énergétiques avec un pourcentage de source d'EnR
	Préserver l'environnement et l'agriculture	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas trop favoriser l'emplacement de sources d'EnR au détriment des terres agricoles ou naturelles - Intégrer les EnR dans le paysage pour réduire les nuisances visuelles et sonore 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les espaces avec un foncier d'une valeur écologique ou agricole plus faible pour y privilégier les installations - Penser à avoir une gestion du foncier mesuré par rapport aux installations d'EnR
	Privilégier la sobriété	<ul style="list-style-type: none"> - Faire attention aux matériaux utilisés lors de la construction, rénovation d'un bâtiment. 	
Favoriser la rénovation aux nouvelles constructions	Augmenter les performances thermiques d'un bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> - Autoriser l'isolation par l'extérieur - Autoriser les extensions favorisant la mitoyenneté à condition qu'elles n'empêchent pas la circulation de l'air - Favoriser les extensions passives : pour cela il faudra définir des critères, des surfaces selon l'usage du bâtiment - Faciliter l'autorisation de rénovation et d'ouverture pour des baies vitrées sur les façades exposées correctement - Refuser toutes extensions, quand cela est possible, de couleur foncée afin de limiter l'absorption des rayonnements solaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Créer un zonage où les extensions sont autorisées à la condition qu'elles fassent preuves d'exemplarité énergétiques - Identifier les zones devant respecter des performances énergétiques renforcées - Schématiser la forme urbaine souhaitée => Simple et compact
Les réseaux d'énergie	Aider le développement des réseaux de chaleur	<ul style="list-style-type: none"> - Faciliter les raccordements aux réseaux de chaleur (création, extension, classement, ...) - Favoriser un pourcentage d'EnR sur certains secteurs pour atteindre des performances énergétiques renforcées 	<ul style="list-style-type: none"> - Créer une cartographie des réseaux présents sur la commune et principalement des réseaux de chaleur et de gaz permettant d'identifier les zones déjà desservies ou pouvant être desservies dans l'avenir
	Augmenter la pérennité et le rendement des réseaux d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> - Favoriser une forme urbaine simple et compacte pour augmenter le nombre de bâtiments raccordés aux réseaux. - Fixer des densités minimales sur des secteurs dont le périmètre des réseaux de transport ou de réseaux de chaleur existants - Diversifier les bâtiments raccordés aux réseaux pour mieux générer le foisonnement - Imposer sur une unité foncière une mixité d'usage 	<ul style="list-style-type: none"> - Tracer les réseaux de chaleur existant pour délimiter des zones où le raccordement au réseau est à privilégier - Identifier les zones où la mixité fonctionnelle est à favoriser - Réserver des couloirs potentiels pour l'implantation de nouveaux réseaux

Données : Fiches technique de l'ADEUS (2017) et divers échanges effectués avec des entreprises et collectivités - Illustration : Flavie HERVÉ, 2020 -

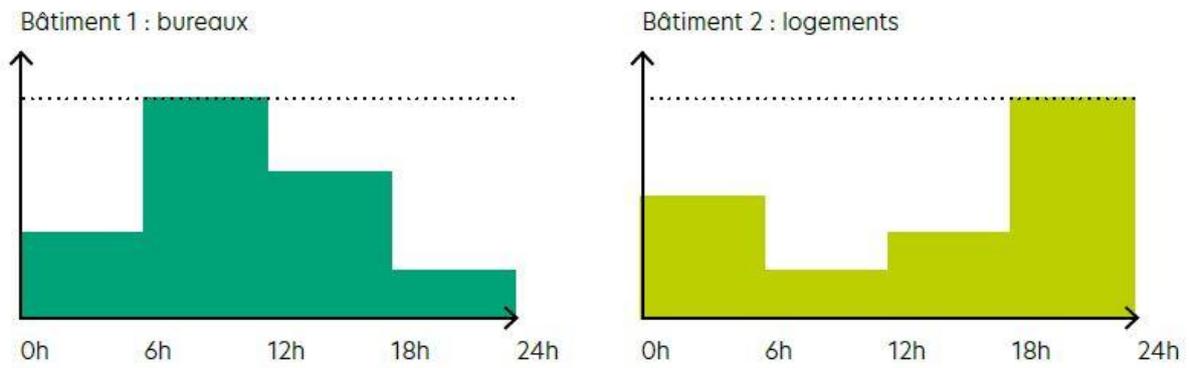
Annexe 6 : Schéma d'un réseau de chaleur



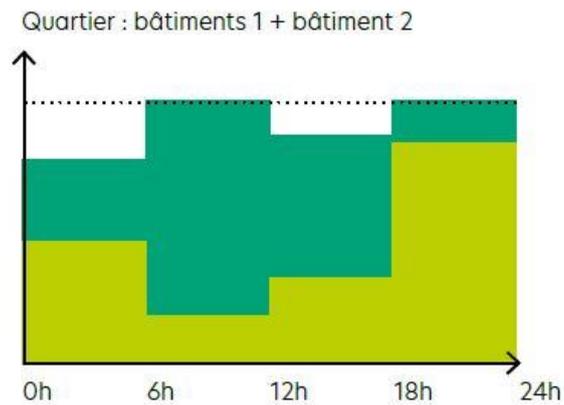
Données : ADEME, AMORCE et de CEREMA – Illustration: Claire MOREAU & Flavie HERVÉ, 2020

Annexe 7 : Principe du foisonnement

Cas n°1 : 2 bâtiments disposant chacun de leur système de chauffage

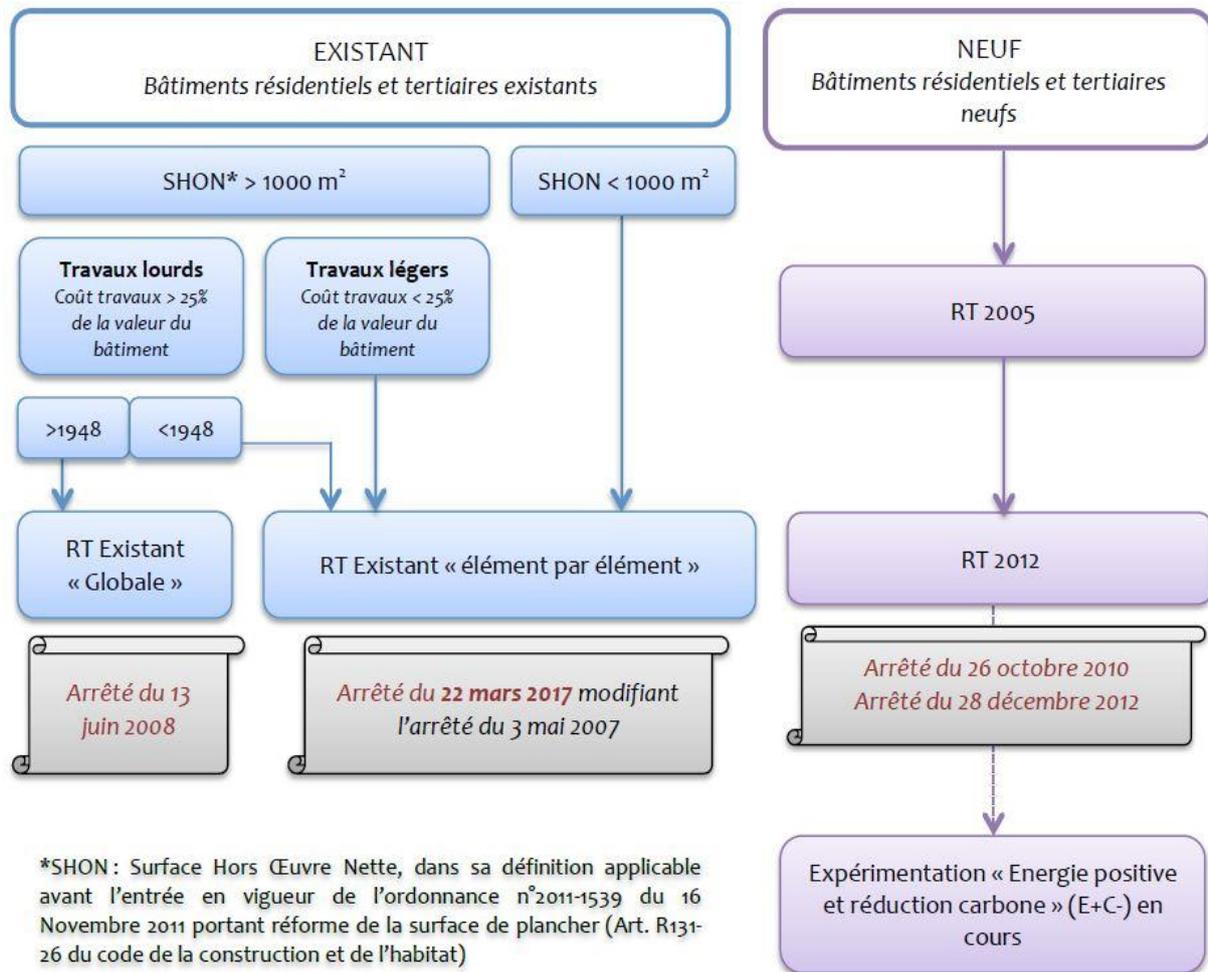


Cas n°2 : 2 bâtiments constituant un « micro-quartier », chauffés par un système collectif



Source : OGE, 2020. *Comment concilier urbanisme et performance énergétique. Publi-Topex, 430 p.*

Annexe 8 : Catégorie des bâtiments depuis la réglementation thermique de 2007



Source : AMORCE, 2017. Prise en compte des réseaux de chaleur dans les réglementations thermiques. 17 p.

Annexe 9 : Tableaux synthétique des réseaux de chaleur dans la réglementation thermique

Réseau de chaleur dans la réglementation thermique des bâtiments existants

REGLEMENTATION			
Réglementation thermique	Type de bâtiments concernés	Textes réglementaires	Comment les réseaux de chaleur sont-ils pris en compte ?
RT Existant globale	Tous bâtiments	<p><i>Arrêté du 13 juin 2008 - Art. 41</i></p> <p>Les coefficients de transformation en énergie primaire sont pris égaux à :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2,58 pour les consommations et productions d'électricité - 0,6 pour les consommations de bois - 1 pour les autres consommations (réseaux de chaleur compris) 	<p> Coefficient de transformation plus faible pour les réseaux de chaleur que pour l'électricité</p> <p> Coefficient de transformation identique aux autres énergies fossiles</p>
	Bâtiments résidentiels	<p><i>Arrêté du 13 juin 2008 - Art. 12 et Art. 13</i></p> <p>Selon la zone climatique :</p> <p>Pour du chauffage aux combustibles fossiles ou bois :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zone H1 : Cep < 130 kWh/(m2.an) - Zone H2 : Cep < 110 kWh/(m2.an) - Zone H3 : Cep < 80 kWh/(m2.an) <p>Pour le chauffage électrique et les réseaux de chaleur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zone H1 : Cep < 165 kWh/(m2.an) - Zone H2 : Cep < 145 kWh/(m2.an) - Zone H3 : Cep < 115 kWh/(m2.an) <p>Avec le Cep, consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment calculée sur 3 postes (cf. §2.1)</p>	<p> Les exigences en termes de consommation conventionnelle sont moins contraignantes (Cep max majoré) pour les réseaux de chaleur que pour les combustibles fossiles,</p> <p> En revanche elles sont identiques à celles du chauffage électrique</p>
	Bâtiments non résidentiels	<p><i>Arrêté du 13 juin 2008 - Art. 12</i></p> <p>Quelle que soit la zone climatique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cep projet < Cep initial - 30% <p>Avec le Cep projet calculé sur 5 postes (cf. §2.1)</p>	<p>Pas de distinction des réseaux de chaleur par rapport aux autres modes de chauffage</p>
RT Existant élément par élément	Tous bâtiments	<p><i>Arrêté du 22 mars 2017 modifiant l'arrêté du 3 mai 2007</i></p> <p>Aucune mention des réseaux de chaleur</p>	<p>Pas de distinction des réseaux de chaleur par rapport aux autres modes de chauffage</p>

Réseaux de chaleur dans la réglementation thermique des bâtiments neufs

REGLEMENTATION			
Réglementation thermique	Type de bâtiments concernés	Textes réglementaires	Comment les réseaux de chaleur sont-ils pris en compte ?
RT 2012	Tous bâtiments (neufs)	<p style="text-align: center;"><i>Arrêté du 28 décembre 2012 - Art. 11</i></p> <p>- Cep < 50 kWh/(m².an) en moyenne en fonction de la surface, des zones climatiques, de l'altitude, des émissions de GES.</p> <p style="text-align: center;"><i>Arrêté du 28 décembre 2012 - Annexe VIII</i></p> <p>Ainsi le raccordement à un réseau de chaleur vertueux permet de bénéficier d'une majoration de ce Cep max :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de +30% pour les réseaux dont le contenu de CO₂ est inférieur ou égal à 50g/kWh - de +20% pour les réseaux dont le contenu de CO₂ est supérieur à 50g/kWh inférieur ou égal à 100g/kWh - de +10% pour les réseaux dont le contenu de CO₂ est supérieur à 100g/kWh inférieur ou égal à 150g/kWh 	 Les réseaux de chaleur vertueux sont valorisés avec la modulation du Cep max (exigences sur la consommation moins contraignantes pour les réseaux à faible contenu CO ₂) : on « échange » un peu de sobriété énergétique contre une réduction des émissions de GES.
		<p style="text-align: center;"><i>Arrêté du 28 décembre 2012 - Art. 14</i></p> <p>Les coefficients de transformation de l'énergie finale en énergie primaire sont pris égaux à :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2,58 pour les consommations et les productions d'électricité - 1 pour les autres consommations 	 Coefficient de transformation plus faible pour les réseaux de chaleur que pour l'électrique  Coefficient de transformation identique aux autres énergies fossiles
Expérimentation "Bâtiments à énergie positive & Réduction Carbone"	Tous bâtiments (neufs)	<p><u>Performance énergétique :</u> Exigences sur le Bilan BEPOS : - Bilan BEPOS < Bilan BEPOSmax (varie en fonction du niveau de performance énergétique, Bilan BEPOSmax étant nul pour le niveau Energie 4) Avec Bilan BEPOS = Cep,nr – Pep,r,ex , où :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cep, nr : la quantité d'énergie ni renouvelable ni de récupération consommée par le bâtiment ; • Pep,r,ex : la quantité d'énergie renouvelable ou de récupération « exportée » par le bâtiment. <p>Dans le calcul du Cep, nr les coefficients de conversion entre énergie finale et énergie primaire ni renouvelable ni de récupération sont pris égaux à :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2,58 pour les consommations et les productions d'électricité - 1 pour le gaz, le charbon et les produits pétroliers - (1 – Taux EnR&R) pour la chaleur et le froid d'un réseau local - 0 pour la biomasse <p>Dans le calcul du Pep,r,ex le coefficient de conversion entre énergie finale et primaire est de 1 pour toutes les énergies.</p> <p>Conservation des exigences de la RT2012, notamment de la modulation du Cep max en fonction des émissions de GES (et donc en fonction du contenu CO₂, cf. RT2012)</p>	 Terme Cep, nr : Les réseaux de chaleur vertueux sont valorisés avec un coefficient de conversion inférieur à 1 voire nul (1 – Taux d'EnR&R) ce qui permet la diminution du Bilan BEPOS La modulation du Cep est conservée pour le calcul du Cep max (même exigences que la RT2012) à ce stade Terme Pep,r,ex : Quand l'énergie exportée est de l'énergie fatale (récupération via un réseau de chaleur, ex : boucle tempérée), la chaleur récupérée n'est pas considérée comme exportée. Elle permet toutefois de verdir le réseau de chaleur auquel le bâtiment est raccordé et fait bénéficier le bâtiment d'un taux d'EnR&R du réseau plus avantageux. Pep,r,ex n'est pas comptabilisé. Une quantité de chaleur peut être considérée comme exportée dans le cas d'une production par le bâtiment qui servirait à un autre bâtiment (hors cas de chaufferie collective). La valorisation sera faite au cas par cas, et il convient de solliciter la DHUP le cas échéant.
		<p><u>Performance environnementale :</u> Evaluation de la performance environnementale sur l'ensemble du cycle de vie via de multiples indicateurs (Potentiel de réchauffement climatique, pollution air/eau, potentiel d'eutrophisation, potentiel d'acidification du sol, ... listés dans la norme NF EN15978) Premier indicateur à calculer et à analyser : Potentiel de réchauffement climatique, noté Emissions GES</p>	 Les réseaux de chaleur vertueux sont valorisés car leur contenu CO ₂ est plus faible, et donc l'indicateur "Carbone", appelé Emissions GES aussi. Dans un premier temps : Emissions GES = Contenu CO ₂ (arrêté DPE), mais à terme, calcul à faire sur l'ensemble du cycle de vie

Source : AMORCE, 2017. Prise en compte des réseaux de chaleur dans les réglementations thermiques. 17 p.

Annexe 10 : Extrait Décret 2020-456 du 21 Avril 2020

Article 4

I.- Les objectifs de développement de la production de chaleur et de froid renouvelables et de récupération en France métropolitaine continentale sont les suivants, en termes de production globale:

Production globale (en TWh)	2023	2028	
		Option Basse	Option Haute
Biomasse	145	157	169
PAC aérothermiques	35	39	45
PAC	4,6	5	7
Géothermiques			
Géothermie	2,9	4	5,2
Solaire thermique	1,75	1,85	2,5

II. - Les objectifs de développement de la chaleur et du froid renouvelables et de récupération en France métropolitaine continentale livrés par les réseaux de chaleur et de froid sont les suivants :

Quantité livrable	2023	2028
Livraison de chaleur renouvelable et de récupération	24,4TWh	Option basse : 31 TWh
		Option haute : 36 TWh
Livraison de froid renouvelable et de récupération	1,1 TWh	Option basse : 1,4 TWh
		Option haute : 2,7 TWh

Ces objectifs sont atteints en ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération définies par l'article R. 712-1 du code de l'énergie.

Source : Extrait des objectifs fixés par le PPE pour la période 2019-2028

Annexe 11 : Tableau synthèse des scénarios et des sources d'énergie

		PROXIMITÉ D'UN RÉSEAU DE GAZ	PROXIMITÉ D'UNE USINE PRODUISANT DE LA CHALEUR FATALE	PRÉSENCE D'UN « GROS CONSOMMATEUR »	QUARTIER RÉSIDENTIEL
FOSSILE		<ul style="list-style-type: none"> L'utilisation d'énergie fossile est à proscrire, car son usage ne permet pas de rendre un réseau de chaleur vertueux. Permet l'alimentation d'un système d'appoint. 			
GÉOTHERMIE	Profonde	<p>Peu présent sur le territoire français. Utilisé essentiellement pour produire de l'électricité.</p>			
	Moyenne	<p>Seulement si un système de gaz n'est pas déployé dans le périmètre du projet et que la géothermie est possible.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de pompes à chaleur géothermique selon la température extraite et celle demandée. Pas exploitable sur l'ensemble du territoire. Les besoins de chaleur ne doivent pas dépasser 150°C Permet de distribuer de la chaleur et du froid. La température de chaleur extraite peut correspondre à divers usages. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de pompes à chaleur géothermique selon la température extraite et celle demandée. Pas exploitable sur l'ensemble du territoire. Les besoins de chaleur ne dépassent pas 150°C Permet de distribuer de la chaleur et du froid. La température de chaleur extraite peut correspondre à divers usages.
	Basse énergie	<p>Seulement si un système de gaz n'est pas déployé dans le périmètre du projet et que la géothermie est possible.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de pompes à chaleur géothermique selon la température extraite et celle demandée. Les besoins de chaleur ne doivent pas excéder 55°C. Permet de distribuer de la chaleur et du froid. La température de chaleur extraite peut correspondre à divers usages. Limite les pertes thermiques lors du transport de la chaleur. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de pompes à chaleur géothermique selon la température extraite et celle demandée. Les besoins de chaleur ne doivent pas excéder 55°C. Permet de distribuer de la chaleur et du froid. La température de chaleur extraite peut correspondre à divers usages. Limite les pertes thermiques lors du transport de la chaleur.
SOLAIRE	<p>Seulement si un système de gaz n'est pas déployé en amont et que l'utilisation des panneaux thermiques ou mixtes est plus favorable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Si le souhait est de mettre des panneaux thermiques ou mixtes sur l'usine, il est nécessaire de faire attention à l'orientation de la toiture. Température de la chaleur élevée, ne nécessitant pas le besoin de système pour rehausser la température. Permet d'exploiter une ressource dont les habitations mal orientées ne pourraient pas profiter. Si l'usine possède une grande toiture. 	<ul style="list-style-type: none"> Attention à l'orientation des toitures. Demande un support foncier, si le souhait est de placer les panneaux dans un parc solaire. Température de la chaleur élevée, donc pas besoin de système pour rehausser la température. Permet d'exploiter une ressource dont les habitations mal orientées ne pourraient pas profiter. Le consommateur spécifique possède une grande toiture. 	<ul style="list-style-type: none"> Attention à l'orientation des toitures. Demande un support foncier, si le souhait est de placer les panneaux dans un parc solaire. Température de la chaleur élevée par rapport aux besoins de ces consommateurs Permet d'exploiter une ressource dont les habitations mal orientées ne pourraient pas profiter. 	
BIOMASSE	<p>Seulement si un système de gaz n'est pas déployé en amont et que la ressource biomasse est favorable.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Demande un support foncier supplémentaire pour le stockage des plaquettes. Il faut s'assurer de la pérennité de la ressource. Favorise l'économie circulaire. Valorise une matière qui aurait été perdue. 	<ul style="list-style-type: none"> Demande un support foncier supplémentaire pour le stockage de la matière. Il faut s'assurer de la pérennité de la ressource. Favorise l'économie circulaire. Valorise une matière qui aurait été perdue. 	

	PROXIMITÉ D'UN RÉSEAU DE GAZ	PROXIMITÉ D'UNE USINE PRODUISANT DE LA CHALEUR FATALE	PRÉSENCE D'UN « GROS CONSOMMATEUR »	QUARTIER RÉSIDENTIEL
RÉCUPÉRATION DE CHALEUR	<p>Seulement si un système de gaz n'est pas déployé en amont et qu'un système de récupération de chaleur peut être mis en place.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Le réseau de chaleur est le système le plus efficace pour récupérer la chaleur fatale. Utilisation en interne ou distribution à plusieurs bâtiments extérieurs à l'usine. Il faut vérifier la pérennité de la ressource. Permet de valoriser une énergie qui aurait dû être perdue sans la mise en place du réseau de chaleur. N'émet pas de CO2. 	<ul style="list-style-type: none"> Le réseau de chaleur est le système le plus efficace pour récupérer la chaleur fatale. Il faut s'assurer de la pérennité de la ressource. Le bâtiment produisant cette ressource doit être proche pour limiter les pertes thermiques. Permet de valoriser une énergie qui aurait dû être perdue sans la mise en place du réseau de chaleur. N'émet pas de CO2. 	<ul style="list-style-type: none"> Le réseau de chaleur est le système le plus efficace pour récupérer la chaleur fatale. Il faut s'assurer de la pérennité de la ressource. Le bâtiment produisant cette ressource doit être proche pour limiter les pertes thermiques. Permet de valoriser une énergie qui aurait dû être perdue sans la mise en place du réseau de chaleur. N'émet pas de CO2.
BIOMÉTHANE	<ul style="list-style-type: none"> La présence d'un site de biométhane doit être reliée au réseau de gaz afin d'éviter un surplus de perte thermique. L'injection de biomasse permet l'augmentation du taux d'énergie renouvelable dans le mix énergétique du réseau de gaz. 			

Légende :

- Point informatif
- Point négatif de la source énergétique
- Point positif de la source énergétique

Données : Flavie HERVÉ., 2020 – Illustration : Claire MONTMIREL & Flavie HERVÉ., 2020

Liste des figures

Figure 1 : Schéma du circuit de la chaleur dans un réseau de chaleur – Données : HERVÉ F., 2020 – Illustration : MONTMIREL C., 2020	6
Figure 2 : Sources d'alimentation du chauffage en 2017 - Donnée : l'énergie tout compris, 2019 – Illustration HERVÉF, 2020.....	7
Figure 3 : Bouquet énergétique (en énergie entrante) - Données : SNCU, 2018 – Illustration : HERVÉ F., 2020	7
Figure 4 : Mode de gestion des réseaux de chaleur - Donnée : ADEME, 2017 – Illustration : HERVÉ F., 2020	12
Figure 5 : Définition des RT - Donnée : HERVÉ F., 2020 – Illustration : MONTMIREL C., 2020	14
Figure 6 : Projets de production d'énergies renouvelables citoyennes – Source : Énergie Partagée, 2020	22
Figure 7 : Catégories des réseaux de chaleur - Source : CEREMA Ouest, 2018	24
Figure 8 : Coupe de principe d'un réseau de chaleur – Illustration : HERVÉ F. & MOREAU C., 2020.....	28
Figure 9 : Mix énergétique d'un réseau de chaleur Source : Inddigo, 2017	29
Figure 10 : Les ressources géothermiques en France - Sources : AFPG et BRGM ,2013	30
Figure 11 : Production d'énergie de récupération – Source : CEREMA.....	32
Figure 12 : Chronologie de réalisation d'un réseau de chaleur - Source : AMORCE, 2017	37
Figure 13 : Concurrence des réseaux de gaz et de chaleur – Illustration : HERVÉ F. & LE HOUEDÉC G., 2020	47
Figure 14 : Schéma illustrant l'exploitation des réseaux selon la source énergétique – Illustration : HERVÉ F. & LE HOUEDÉC G., 2020.....	48
Figure 15 : Système de récupération de la chaleur - Sources : VEOLIA/COVATYS.....	50
Figure 16 : Schéma représentant l'exploitation de la chaleur par une usine d'épuration et les habitants – Illustration : HERVÉ F. & LE HOUEDÉC G., 2020.....	51
Figure 17 : Schéma illustrant la densité de chaleur desservit aux divers horaires de la journée - Illustration : HERVÉ F. & LE HOUEDÉC G., 2020.....	53

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les intervenants selon le mode d'exploitation public – Donnée : ADEME, 2009 – Illustration : MONTMIREL C., 2020.....	12
Tableau 2 : Tableau récapitulatif des objectifs vis-à-vis des réseaux de chaleur - Source : HERVÉ F., 2020	15
Tableau 3 : Analyse pondérée d'un réseau de chaleur - Source : HERVÉ F., 2020	41
Tableau 4 : Mix énergétique du scénario 1, concurrence entre les réseaux de gaz et de chaleur – Source : F.HERVÉ, 2020	49
Tableau 5 : Mix énergétique du scénario 2, proximité d'une usine produisant de la chaleur fatale – Source : F.HERVÉ, 2020	52
Tableau 6 : Mix énergétique du scénario 3, présence d'un « gros consommateur » – Source : F.HERVÉ, 2020.	54
Tableau 7 : Mix énergétique du scénario 4, quartier résidentiel – Source : F.HERVÉ, 2020	58

La mutualisation des boucles énergétiques de chauffage au sein des projets d'aménagement de faible ampleur

Mémoire de Master Foncier C.N.A.M., Paris 1992

RÉSUMÉ

L'étude des réseaux de chaleur a permis de mettre en valeur leur intérêt et leur viabilité dans le cas de projets de faible ampleur. La viabilité des réseaux de chaleur a été vérifiée par leur apport positif dans l'amélioration des performances énergétiques et leur capacité à participer à la mutualisation des réseaux.

La comparaison des différentes sources énergétiques et des divers systèmes de distribution prouve que les réseaux de chaleur participent à accroître la sobriété du projet, grâce à la distribution d'énergies renouvelables et de récupération. L'intérêt d'un réseau de chaleur dans des projets de faible ampleur réside dans son potentiel de mutualisation d'un système de chauffage.

L'utilisation d'énergie positive locale et le contrôle des critères de viabilité d'un chauffage urbain sont indispensables pour garantir l'apport énergétique positif des réseaux de chauffage dans ces projets.

Mots clés : réseau de chaleur, chauffage urbain, performance énergétique, sobriété, énergie renouvelable et de récupération, mutualisation, boucle énergétique, projet d'aménagement.

SUMMARY

The study of heating networks allowed to highlight their interest and viability in small-scale projects. The viability of heating networks has been verified by their positive contribution in improving energy performance and their ability to participate in the pooling of networks.

The comparison of the different energy sources and the various distribution systems proves that the heating networks participate in increasing the energy sobriety of the project thanks to the distribution of renewable and recovered energy. The interest of a heating network in small-scales projects is also proven by the pooling of a heating system.

The use of local positive energy and checking the criteria for the viability of district heating is essential to guarantee the positive energy supply of the heating networks in small-scales projects.

Key words : heating networks, energy performance, sobriety, energy sobriety, the pooling, energy loop, development project.