

Décembre 2022

Schéma directeur du réseau de Limeil- Brévannes

Rapport final

Limeil-Brévannes

Destinataire

Nom
R. Pagès

Approbateur

Nom
G. Texier

Rédacteur

Nom
N. Zielinski

SOMMAIRE

1. Préambule	5
1.1 Contexte de la mission	5
1.2 Objectif de l'étude	6
2. Renseignements généraux relatifs à l'étude	7
2.1 Présentation du comité de pilotage du schéma directeur	7
2.2 Intervenants.....	7
2.2.1 Autorité délégante	7
2.2.2 Assistant à Maîtrise d'ouvrage – Schéma directeur	7
2.2.3 Délégué.....	8
3. Historique – contexte contractuel	9
4. Audit technique	13
4.1 Production	13
4.2 Distribution	13
4.3 Sous-stations.....	14
4.3.1 Liste des abonnés	14
4.3.2 Installations en sous-stations	16
5. Audit énergétique	17
6. Audit économique	20
6.1 Coût de la chaleur / Recettes	20
6.1.1 Terme R1.....	20
6.1.2 Terme R2.....	20
6.2 Frais de raccordement.....	21
6.3 Investissements, subventions.....	21
6.4 Charges	22
6.4.1 Charges de combustibles.....	22
6.4.2 Charges d'exploitation.....	22
6.4.3 Charges de Gros Entretien et Renouvellement.....	22
7. Etat des lieux des sources de chaleur à proximité	23
7.1 Démarche EnR'Choix	23
7.2 Réseau publics et privés à proximité du réseau	24
7.3 Récupération de chaleur fatale	25
7.3.1 Principe.....	25
7.3.2 Contraintes.....	27

7.3.3 Ressource disponible	28
7.4 Géothermie.....	30
7.4.1 Principe.....	30
7.4.2 Contraintes.....	33
7.4.3 Ressource locale	34
7.5 Biomasse.....	35
7.5.1 Principe.....	35
7.5.2 Contraintes.....	36
7.5.3 Ressource.....	37
7.6 Biogaz.....	38
7.6.1 Principe.....	38
7.6.2 Contraintes.....	39
7.6.3 Ressource.....	40
8. Evolutions et développements envisagés du réseau	42
8.1 Situation de référence	42
8.2 Evolution et développement du réseau envisagés	42
8.2.1 Méthodologie pour la prospection de potentiels abonnés.....	42
8.2.2 Projets d'aménagement et d'urbanisation.....	42
8.2.3 Présentation des prospectes	43
9. Analyse technique et énergétique des scénarios.....	50
9.1 Définition des scénarios	50
9.1.1 Hypothèses.....	50
9.1.2 Scénario périmètre restreint.....	51
9.1.3 Scénario périmètre élargi	53
9.2 Moyens de production pris en compte	56
9.3 Analyse énergétique et environnementale.....	58
9.3.1 Scénario périmètre restreint.....	59
9.3.2 Scénario périmètre élargi	60
10. Analyse économique	62
10.1 Investissements et subventions.....	63
10.1.1 Les investissements.....	63
10.1.2 Les mécanismes de financement mobilisables.....	65
10.2 Charges d'exploitation	68
10.2.1 Charges d'énergie P1.....	68
10.2.2 Charges d'exploitation et administratives P2.....	69
10.2.3 Charges de gros entretien et renouvellement P3 (GER).....	70
10.2.4 Synthèse des charges.....	70
10.3 Résultats de l'analyse économique – Etude de sensibilité économique.....	71
11. Evolution et intégration contractuelle, politique et juridique.....	74
12. Synthèse et plan d'actions.....	75
12.1 Synthèse de l'analyse technico-économique	75
12.2 Plans d'actions	75

13. Table des figures	76
14. Glossaire	78

1. PREAMBULE

1.1 Contexte de la mission

En 2009, la Ville de Limeil-Brévannes décide de créer son propre réseau de chaleur et de contractualiser une Délégation de Service Public en ce sens. Le périmètre de la DSP comprend tout le quart nord-ouest de la commune, mais celui du réseau se limitait alors uniquement à la ZAC Ballastière Sud (devenu depuis l'écoquartier des Temps Durables).

Les équipements de production de chaleur sont, à l'origine, une centrale biomasse/huile végétale (à l'époque considérée comme une EnR&R), des panneaux solaires thermiques (pour une surface totale de 2 290 m² de panneaux) et quatre pompes à chaleur de 40 kW chacune. La DSP prévoit aussi la production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque (pour une surface totale de 3 600 m² de panneaux).

En 2012, face aux retards pris pour la construction de la centrale biomasse, liés à des problèmes de dépollution des sols, et en raison de la livraison des premiers programmes immobiliers, il est décidé une période transitoire de fonctionnement avec deux chaudières mobiles au fioul avant la mise en place de la centrale définitive. Celle-ci est suivie d'une autre période transitoire de fonctionnement avec deux chaudières au gaz naturel avant la mise en service de la centrale biomasse en 2015, composée finalement d'une chaudière bois et des deux chaudières au gaz naturel conservée de la période transitoire.

Le périmètre du réseau a également été revu pour intégrer le projet urbain partenarial « Pôle Pasteur » lancé en 2012.

Le réseau de chaleur de la Ville de Limeil-Brévannes est ainsi géré depuis le 1^{er} avril 2015 (date de mise en service de la centrale biomasse) par la Société de Chaleur de Limeil-Brévannes, filiale du groupe ENGIE Solutions, via un contrat de Délégation de Service Public qui arrive à échéance le 31 mars 2045.

Aujourd'hui c'est donc une chaufferie centrale composée d'une chaudière bois et de deux chaudières gaz qui permet d'alimenter les 2,9 km de réseaux desservant 36 sous-stations abonnés, soit l'équivalent de 2 200 équivalent-logements.

La DSP comprend aussi une surface totale d'environ 3 600 m² de panneaux solaires thermiques, trois pompes à chaleur, des épingles électriques à hauteur de 550 kW, les deux chaudières gaz de la chaufferie déportée de la mairie et des panneaux solaires photovoltaïques pour une puissance totale de 430 kVA en sortie d'onduleur.

L'obligation de réalisation d'un schéma directeur est instituée par l'article 18 de la loi n°2019-1147 du 8 novembre 2015 relative à l'énergie et au climat qui rend obligatoire la réalisation du schéma directeur par les collectivités propriétaires d'un réseau de chaleur mis en service entre 2009 et 2019.

La Ville de Limeil-Brévannes souhaitait pouvoir étudier les possibilités d'extension du réseau et, dans le cadre des travaux correspondants, bénéficier de subventions au titre du Fonds Chaleur de l'ADEME. En effet, l'existence d'un Schéma Directeur de moins de 5 ans est nécessaire à l'obtention de ces aides au financement.

L'objectif de la démarche est de déterminer les scénarios possibles d'évolution du réseau à l'horizon 2030 et de choisir un plan d'actions adapté en fonction du contexte technique et contractuel.

1.2 Objectif de l'étude

Le concept de « Schéma Directeur » s'inscrit dans une démarche d'anticipation dont l'objectif est de réaliser un exercice de projection d'un réseau à l'horizon 2030. Pour cela, l'étude doit mener à la définition de différents scénarios technico-énergétiques devant permettre à la Ville de Limeil-Brévannes de décider d'une orientation pour le service public de distribution de chaleur.

La présente étude a donc pour vocation de déterminer un plan d'actions qui intégrera les évolutions de raccordement, de demandes énergétiques, d'urbanisme, afin d'assurer la pérennité du réseau sur les plans économique et environnemental.

La présente étude a été réalisée sur le 2nd semestre 2021 et le 1^{er} semestre 2022.

L'étude a été réalisée dans le respect du guide de réalisation d'un schéma directeur AMORCE/ADEME de 2021.

Le présent rapport suivra donc les étapes clés suivantes :

- . Présentation du comité de pilotage du schéma directeur ;
- . Diagnostic du réseau actuel : contexte contractuel, technique, économique et énergétique ;
- . Etat des lieux des sources de chaleur ENR&R à proximité ;
- . Projection du réseau à l'horizon 2030 en termes d'évolution des consommations des abonnés actuels et des raccordements de nouveaux abonnés ;
- . Elaboration de différents scénarios consensuels et chiffrés d'évolution du réseau avec leurs impacts techniques, économiques, contractuels, environnementaux et sociaux ;
- . Synthèse de l'étude et proposition d'un plan d'actions avec échéancier prévisionnel.

2. RENSEIGNEMENTS GENERAUX RELATIFS A L'ETUDE

2.1 Présentation du comité de pilotage du schéma directeur

Madame le Maire : Françoise LECOUFLE
 Directrice Générale des Services : Yasmina KHERMACHE
 Directeur du Patrimoine Bâti : Romain PAGES

Responsable du Pôle Transition Energétique de l'ADEME : Claire FLORETTE
 Référente Biomasse du Pôle Transition Energétique de l'ADEME : Garance PETIT

2.2 Intervenants

2.2.1 Autorité délégante

L'autorité délégante du réseau de chaleur est la Ville de Limeil-Brévannes.

Coordonnées :

Mairie de Limeil-Brévannes

Hôtel de ville CS 20001 – 94456 Limeil-Brévannes cedex

www.limeil-brevannes.fr

Les interlocuteurs sont les suivants :

Françoise LECOUFLE	Maire	françoise.lecoufle@limeil.fr
Yasmina KHERMACHE	Directrice Générale des Services	yasmina.khermache@limeil.fr
Romain PAGES	Directeur du Patrimoine Bâti	romain.pages@limeil.fr

2.2.2 Assistant à Maîtrise d'ouvrage – Schéma directeur

La mission d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage pour la réalisation de l'étude technique, financière et juridique du schéma directeur du réseau est assurée par le **Bureau d'études Itherm Conseil** du groupe Manergy.

Coordonnées :

ITHERM CONSEIL

1 Allée des Pierres Mayettes – 92230 Gennevilliers

Tél. : 01 41 11 97 89 / Fax. : 01 41 11 91 67

www.ithermconseil.fr

Les interlocuteurs sont les suivants :

Benoît LACHENAIT	Directeur	blachenait@manergy.fr
Pauline RAINE	Directrice Pôle Territoires	praine@manergy.fr
Guillaume TEXIER	Responsable d'Opérations	gtexier@manergy.fr
Nathan ZIELINSKI	Chargé d'Affaires	nzielinski@manergy.fr

2.2.3 Délégué

L'exploitation du réseau de chaleur de la Ville de Limeil-Brévannes est assurée par la Société de Chaleur de Limeil-Brévannes.

Coordonnées :

Limeil-Brévannes Energies

17 Rue du Faubourg de la Chaussée – 45207 Limeil-Brévannes cedex

Cette société d'exploitation est dédiée au réseau de chaleur de la Ville de Limeil-Brévannes et est une filiale à 100% de **ENGIE Solutions**.

Les interlocuteurs pour le réseau de la Ville de Limeil-Brévannes sont les suivants :

Joël TAILLARDAS	Président de la SCLB	joel.taillardas@engie.com
Stéphane BENAYAD	Responsable de Département	stephane.benayad@engie.com
Sondos FARES	Responsable Equipe Exploitation	sondos.fares@engie.com

3. HISTORIQUE – CONTEXTE CONTRACTUEL

Le réseau de chaleur de Limeil-Brévannes a été initié lors de la signature, le 6 février 2009, de la convention de DSP entre la Ville de Limeil-Brévannes représentée par son maire (M. Rossignol) et la Société de Chaleur de Limeil-Brévannes (SCLB). Cette société est une filiale dédiée de Elyo-Suez Energie Services (devenue depuis Cofely Services, puis ENGIE Cofely et ENGIE Solutions), entreprise ayant remporté l'appel d'offres pour la « Délégation de Service Public de production et distribution d'énergie thermique, et services connexes (production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque) ».

Cette convention porte sur un périmètre incluant le quart nord-ouest de la commune, mais se concentre exclusivement sur la ZAC Ballastière Sud dont l'aménagement venait d'être lancé. Cette ZAC prévoyait la construction d'environ 1 240 logements et 4 000 m² de commerces sur d'anciennes friches industrielles.

La ZAC, devenu l'écoquartier des Temps Durables avait vocation à devenir le premier écoquartier alimenté à 100 % en énergie d'origine renouvelable. Le programme de travaux initial comprenait :

- La réalisation d'une centrale Biomasse/Huile végétale (à l'époque considérée comme une EnR&R) d'une puissance de 2,8 MW, devant être livrée en même temps que les premiers programmes et au plus tard au 3^{ème} trimestre 2013 ;
- L'implantation de 2 290 m² de panneaux solaires thermiques ;
- La pose de 3 600 m² de panneaux solaires photovoltaïques ;
- L'installation de 4 pompes à chaleur de 40 kW chacune.

Au premier semestre 2012, face aux retards pris pour la construction de la Centrale Biomasse (problème de dépollution des sols) et en raison de la livraison des premiers programmes immobiliers, la mise en place de deux chaufferies mobiles au fioul (5,4 MW + 600 kW pour l'îlot 6 excentré) a été actée par l'avenant 1. Cet avenant instaure une période transitoire avant la mise en place de la Centrale définitive.

Au deuxième semestre 2012, la ville a lancé le projet urbain partenarial (PUP) « Pôle Pasteur », visant la création d'environ 720 logements supplémentaires à proximité immédiate de la mairie. Il a donc été décidé d'étendre le réseau à ce quartier via un protocole d'accord. Ce protocole d'accord prévoit la participation financière des promoteurs, de la ville et de SCLB pour le développement de ce réseau.

Ce protocole d'accord a été acté par l'avenant 2 daté de Janvier 2013, et modifie les moyens de production à mettre en place en conséquence des extensions prévues. Cet avenant a vocation à entrer en application à compter de la mise en service de la centrale définitive. Les moyens de production, à échéance, devront être les suivants :

- Une centrale Biomasse composée d'une chaudière bois de 3 MW et deux chaudières au Gaz Naturel de puissance unitaire 3 MW, à construire dans une période de 18 mois après obtention du permis de construire, lui-même devant être déposé au plus tard 3 mois après le 14 Janvier 2013, soit une mise en service au plus tard (délais d'instruction inclus) fin Mars 2015 ;
- 2 475 m² de panneaux solaires thermiques plans sur le quartier des Temps Durables ;
- 1 000 m² de panneaux solaires thermiques sous vide (1 350m² eq. plan) sur les îlots 5 et 8 du quartier Pasteur et sur la toiture de l'hôtel de ville ;
- 2 563 m² de panneaux solaires photovoltaïques sur les îlots du quartier des Temps Durable ;
- 3 pompes à chaleur sur extraction de VMC 40 kW sur 3 sous-stations du QTD.

Au 2^{ème} semestre 2013, face aux coûts représentés par les chaufferies provisoires au fioul, et en raison de la prolongation de la période transitoire, il a été décidé de conclure un second avenant transitoire, dénommé avenant 3, actant le passage à une chaufferie provisoire de 6 MW au gaz naturel jusqu'à la mise en service de la centrale biomasse.

En 2014, la centrale biomasse n'étant toujours pas mise en service, le fonctionnement retenu est celui de l'avenant 3. Le réseau est donc alimenté par une chaufferie provisoire au gaz naturel de 6MW. La construction de la chaufferie principale et l'extension au quartier Pasteur se poursuivent.

Par délibération en date du 6 Novembre 2014, la Ville de Limeil-Brévannes a décidé d'adhérer à la compétence « Développement des énergies renouvelables » du SIPPAREC. Cette adhésion a été suivie d'un transfert de la compétence « réseau de chaleur » acté par un protocole conclu entre la Ville et le SIPPAREC en Juillet 2015 suite à un audit complet de réseau réalisé au premier semestre 2015.

Le SIPPAREC se substitue de fait à la Ville en tant qu'autorité délégante de la DSP en vue de mener les négociations pour la mise en place d'un nouvel avenant avec pour objectif de faire baisser le coût de la chaleur.

Finalement, au vu du mécontentement grandissant des usagers par rapport au coût du chauffage, et de l'impasse des négociations menées par le SIPPAREC, la ville a décidé en Mars 2016 de reprendre la compétence de manière à redevenir autorité délégante afin de pouvoir mener les négociations en direct. Ce nouveau transfert de compétence a été effectif à fin Mai 2016.

Suite à cette reprise de compétence, la ville a relancé les négociations avec SCLB en repartant des bases posées lors des échanges avec le SIPPAREC. Ces négociations ont conduit à la signature d'un avenant 4 en Novembre 2016. Cet avenant qui permet une diminution globale du coût de la chaleur sur le réseau de Limeil-Brévannes est entré en application au 1^{er} Décembre 2016. Il prévoit :

- . L'actualisation des montants d'investissements ;
- . La modification de la puissance souscrite de certains abonnés ;
- . La modification des tarifs ;
- . La mise en place de certaines redevances.

Cet avenant modifiant l'équilibre global de la DSP, le compte d'exploitation prévisionnel a été revu et prévoit la mise en place d'une soulte en fin de contrat de 1,5 M€.

Un 5^{ème} avenant a été discuté entre la ville et le délégataire au cours de l'année 2017. Cet avenant a pour objectif de définir les modalités de mise à disposition de la chaufferie de l'Hôtel de Ville au délégataire pour assurer le service au cours de l'été. En effet, cette mise à disposition pour l'appoint de Pasteur au cours de l'été était prévue par l'avenant 2 et était effective depuis 2015 mais n'avait jamais été contractualisée. Cet avenant prévoit donc :

- . La mise à disposition totale par la Ville de la chaufferie de l'Hôtel de Ville au délégataire (qui prend donc en charge l'exploitation et l'alimentation en énergie) ;
- . Le raccordement de l'Hôtel de Ville au réseau de chaleur ;
- . La mise en place d'une redevance de mise à disposition.

Cet avenant a été validé en Conseil Municipal mi-Décembre 2017 et signé par les 2 parties en Mars 2018. Le raccordement de l'Hôtel de Ville est intervenu mi-Janvier 2018.

Un 6^{ème} avenant a été discuté au cours de l'année 2018. Cet avenant a pour objectifs d'intégrer un bordereau des prix unitaires au contrat de DSP d'une part et de contractualiser le reversement d'une subvention d'équipement de la Région Ile-de-France à la SCLB par la Ville de Limeil-Brévannes d'autre part.

En effet, le contrat de DSP initial prévoit qu'un bordereau des prix unitaires (BPU) soit annexé au règlement de service. Si cette formalité avait été réalisée à l'époque, le BPU n'a finalement pas été intégré lors de l'approbation de la convention et ce BPU

n'a jamais pu être approuvé et signé. Au vu des travaux à venir (Ecole St John Perse et ZAC Ballastière Nord), il est nécessaire de régulariser cette situation.

De plus, lors de la mise en place de la Délégation de Service Public et du réseau de chaleur, la Ville et la SCLB ont sollicité des subventions d'équipement pour la réalisation de la centrale biomasse. En 2018, la Région Ile-de-France a réattribué, notifié et versé 3 subventions correspondant à la mise en place du solaire photovoltaïque, du solaire thermique et de la réalisation d'une centrale biomasse avec 75% d'énergie renouvelable par la SCLB, pour une somme totale de 1 377 227,76 €, qui se décompose de la manière suivante :

- . 93 752,00 € pour la réalisation d'une centrale photovoltaïque sur les bâtiments de la ZAC Ballastière ;
- . 857 169,41 € pour la réalisation de panneaux solaires thermiques sur les bâtiments de la ZAC Ballastière ;
- . 426 306,35 € pour la construction d'une chaufferie biomasse raccordée au réseau de chaleur de la ZAC Ballastière.

La Région Ile-de-France ne subventionnant que les collectivités, les subventions attribuées dans le cadre de délégation de service public avec travaux sont versées à l'autorité délégante, qui doit ensuite reverser la subvention perçue à son concessionnaire, comme précisé à l'article 5 des conventions de subventions. Cette subvention a été versée par la Région Ile-de-France à la Ville de Limeil-Brévannes le 30 Décembre 2018. Non prévue à l'origine de la convention, il était donc nécessaire de prévoir les conditions de ce reversement par la Ville à la SCLB via un avenant n°6.

Cet avenant a été validé en Conseil Municipal et signé par les 2 parties mi-Juin 2019. Le reversement de la subvention d'équipement a été effectué mi-Novembre 2019.

	DSP	Avenant 1	Avenant 3	Avenant 2	Avenant 4	Avenant 5	Avenant 6
Périmètre	QTD	QTD	QTD	QTD + Pasteur	QTD + Pasteur	QTD + Pasteur	QTD + Pasteur
Signature	2009	S2 2012	S2 2013	T1 2013	Nov. 2016	Mars 2018	Juin 2019
Application	A la signature	De la livraison du premier îlot QTD au passage au gaz	Du passage au gaz à la mise en service de la centrale biomasse	A la mise en service de la Centrale Biomasse	1 ^{er} Décembre 2016	1 ^{er} Janvier 2018	A la signature
Energie	Biomasse Huile végétale Solaire Thermique PAC Epingle électrique Photovoltaïque	Fioul Solaire Thermique PAC Epingle électrique	Gaz Naturel Solaire Thermique PAC Epingle électrique	Biomasse Gaz Naturel Solaire Thermique (yc. toiture mairie) PAC Epingle électrique Photovoltaïque	Biomasse Gaz Naturel Solaire Thermique (yc. toiture mairie) PAC Epingle électrique Photovoltaïque	Biomasse Gaz Naturel Solaire Thermique (yc. toiture mairie) Gaz Naturel HdV PAC Epingle électrique Photovoltaïque	Biomasse Gaz Naturel Solaire Thermique (yc. toiture mairie) Gaz Naturel HdV PAC Epingle électrique Photovoltaïque
Tarification	Suivant DSP – Jamais appliquée	Transitoire fioul	Transitoire gaz	Nouvelle tarification	Nouvelle tarification + soulte	Nouvelle tarification + soulte	Sans modification

Figure 1 – Evolution contractuelle du réseau

4. AUDIT TECHNIQUE

4.1 Production

Les moyens de productions du réseau sont les suivants :

- . Moyens de production centralisés à la chaufferie principale (mise en service industriel au 31 Mars 2015) située au nord du quartier des Temps Durables, rue Albert Garry, constituée de :
 - Une chaudière biomasse (plaquette forestière) Agro Forst de 3 MW ;
 - 2 chaudières mixtes Gaz Naturel / Fioul de 3 MW chacune (transfert des chaudières de la chaufferie provisoire installé avant la mise en service de la centrale biomasse) ;
 - Un ballon de stockage hydraulique de 80 m³ permettant de maximiser la production biomasse pour lisser les appels de puissances (environ 1,4 MW).
- . Moyens de production décentralisés sur QTD permettant la production de l'ECS de l'îlot concerné :
 - Panneaux solaires thermiques (EnR&R) : 2 440 m² répartis sur l'ensemble des îlots hormis le n°5 ;
 - Pompes à chaleur (EnR&R) : une de 20 kW sur l'îlot 5 et deux de 13 kW sur l'îlot n°8 ;
 - Epingles électriques, réparties sur l'ensemble des sous-stations, à hauteur de 552 kW au total.
- . Moyens de production centralisés sur Pasteur :
 - Une centrale solaire de plus de 1 000 m² renvoyant l'ensemble de sa production directement sur le réseau avec :
 - Sur le toit de l'Hôtel de Ville, 916 m² de panneaux thermiques à changement de phase ;
 - Sur 2 îlots, environ 276 m² de panneaux thermiques à changement de phase.
 - La chaufferie de l'Hôtel de Ville composée de deux chaudières de 350 kW unitaire permettant de faire l'appoint-secours de la centrale solaire thermique en période estivale.

Soit une puissance thermique totale d'environ 10,4 MW.

La délégation de service public inclut aussi la production d'électricité via des panneaux solaires photovoltaïques répartis sur l'ensemble des îlots QTD. Environ 430 kVA sortie d'onduleur sont installés.

4.2 Distribution

Le réseau est composé de canalisations en fibre :

- . Desservant l'ensemble du Quartier des Temps Durables pour une longueur de tranchée d'environ 1 645 ml ;

- Reliant le quartier des Temps Durables depuis son nœud central au local d'interconnexion situé à côté de l'Hôtel de Ville pour une longueur de 492 ml ;
- Desservant l'ensemble du quartier Pasteur depuis le local d'interconnexion des réseaux (LIR), pour une longueur d'environ 720 ml.

Soit au total 2 857 ml de tranchée.

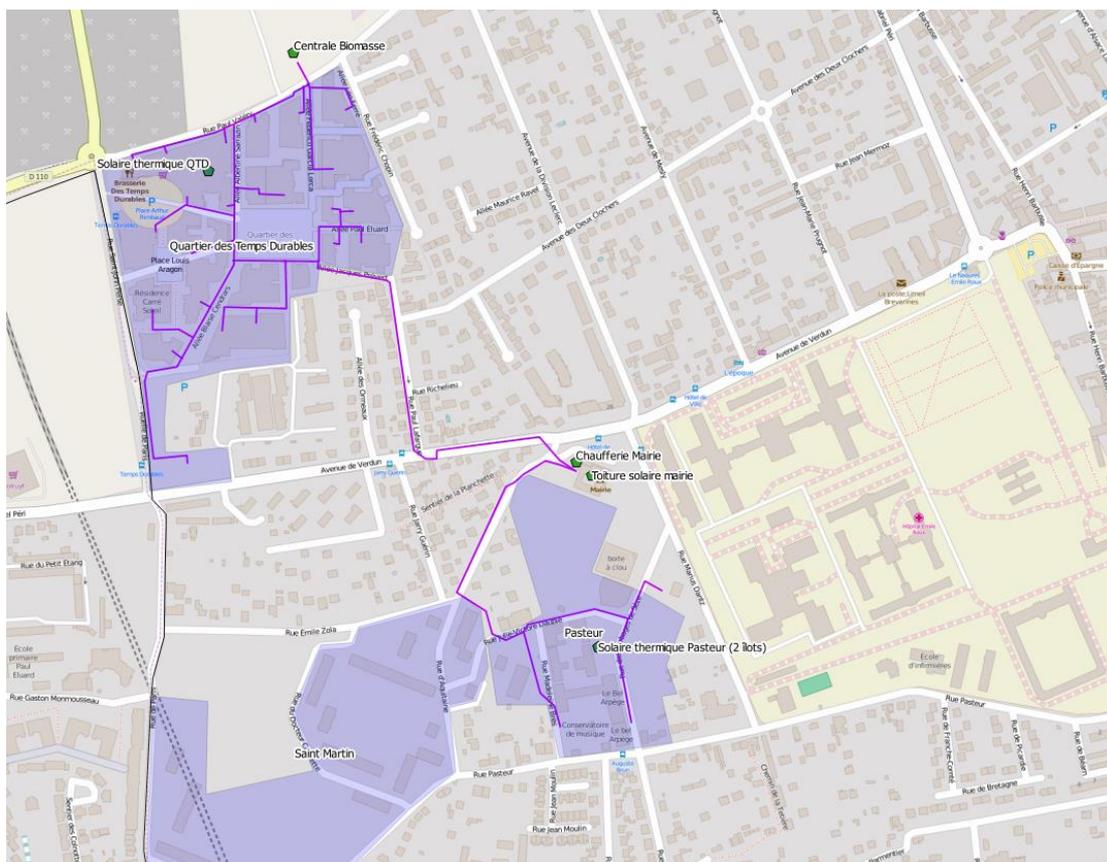


Figure 2 – Tracé du réseau

4.3 Sous-stations

4.3.1 Liste des abonnés

Le réseau de chaleur est composé de :

- 25 sous-stations alimentées desservant 26 abonnés sur le QTD. L'ensemble de ces sous-stations dessert des bâtiments résidentiels, les commerces installés sur le quartier disposant de leurs propres moyens de production d'énergie. Ces abonnés représentaient 4 125 kW_{souscrits} au 31 Décembre 2021 ;

9 sous-stations résidentielles et 2 sous-stations d'équipements publics alimentées (GS Pasteur et Hôtel de Ville) sur le quartier Pasteur. Ces abonnés représentaient 3 517 kW_{souscrits} au 31 Décembre 2021.

Installation	Sous-station	Nom	Clients	Type	Logement ou eq. Lgt	Puissance souscrite (kW)
						31/12/2021
5149002001	1 BAT A1		Immobilière 3f	Logement social	41	130
5149002002	1A BAT A2		Immobilière 3f	Logement social	33	114
5149002003	1A BAT 67		Immobilière 3f	Logement social	37	122
5149002004	1B BAT 34		Immobilière 3f	Logement social	72	223
5149002005	1B BAT 5		Immobilière 3f	Logement social	31	94
5149002006	2-1 BAT E	Phénix	Ciag	Copropriété	29	107
5149002007	2-1 BAT F	Phénix	Ciag	Copropriété	36	127
5149002008	2-2 BAT AB	La Ballastière	Foncia	Copropriété	52	180
5149002009	2-2 BAT CD		Batigère	Logement social	45	190
5149002010	3-1	Leo Ferré - Sise	Logial	Logement social	36	141
5149002011	3-2 BAT 123	Leo Ferré - Sise	Logial	Logement social	76	257
5149002012	3-3 BAT A	Leo Ferré - Sise	Logial	Logement social	32	98
5149002013	3-3 BAT BC	Leo Ferré - Sise	Logial	Logement social	43	164
5149002014	4 BAT A	Cap Verde	Ciag	Copropriété	36	95
5149002015	4 BAT B		Valophis	Logement social	34	116
5149002016	5-1 BAT ABC	Natural Park	Cabinet ABP	Copropriété	82	238
5149002017	5-1 BAT D	Natural Park	Cabinet ABP	Copropriété	23	93
5149002018	5-2 BAT AB	Cybelia	Ciag	Copropriété	84	238
5149002019	5-2 BAT C	Cybelia	Ciag	Copropriété	50	137
5149002020A		Crèche QTD	Crèche	Equipement public	8	20
5149002020	6.		Valophis	Logement social	30	110
5149002021	7-1 BAT E	Carré Soleil	Ciag	Copropriété	63	242
5149002022	7-2 BAT ABC	Grand Parc	Ciag	Copropriété	81	292
5149002023	7-2 BAT D	Grand Parc	Ciag	Copropriété	46	161
5149002024	8 BAT A		Valophis	Logement social	64	210
5149002025	8 BAT BC	Villa Verde	ADB Patrimoine	Copropriété	72	226
Total QTD					1 236	4 125
5149002026	1 BAT AB	La Pastel	Immo de France	Copropriété	60	254
5149002027	1 BAT CDE		Expansiel - Valophis	Logement social	67	301
5149002028	2 BAT AB	Résidence Nuances	ED Gestion	Copropriété	93	330
5149002029	3 BAT AB		Logial	Logement social	95	454
5149002030	4 BAT AB	Résidence Jazz	ABP	Copropriété	66	235
5149002031	5 BAT ABC	Résidence Bel Arpège	Foncia	Copropriété	96	293
5149002032	6 BAT ABCDE	Résidence Ecrin Tendance	SERGIC	Copropriété	101	355
5149002033	7 BAT AB	Résidence Nouvel R	Concept Premium	Copropriété	97	327

5149002034	8 BAT ABC		Logial	Logement social	46	226
5149002035		GS Pasteur	Ecole Pasteur	Equipement public	132	416
5149002036			Hôtel de Ville	Equipement public	91	326
Total Pasteur					945	3 517
Total Réseau					2 181	7 642

Figure 3 – Liste des abonnés du réseau et puissances souscrites

Ces abonnés totalisent des besoins annuels en chaleur de l'ordre de 13 GWh, soit une densité énergétique d'environ 4,6 MWh/ml.

4.3.2 Installations en sous-stations

La totalité des sous-stations dispose d'échangeurs à plaques pour le chauffage et d'une production ECS instantanée composée d'un échangeur primaire, d'un ballon de stockage primaire et d'un échangeur ECS instantané.

Les sous-stations du QTD et deux sous-stations du quartier Pasteur disposent également d'échangeurs à plaques et de ballons de stockage pour le solaire thermique.

Les autres équipements présents dans chaque sous-station et biens de retour de la délégation sont les suivants :

- Pompe de charge lorsque besoins ;
- Vannes d'arrêt, robinets de réglage et de by-pass, filtres ;
- Vannes de régulation, servomoteurs ;
- Compteur de chaleur : Intégrateur et mesureur.

5. AUDIT ENERGETIQUE

Actuellement, en 2021, la production de chaleur est essentiellement assurée par la chaudière biomasse et les chaudières gaz de la centrale.

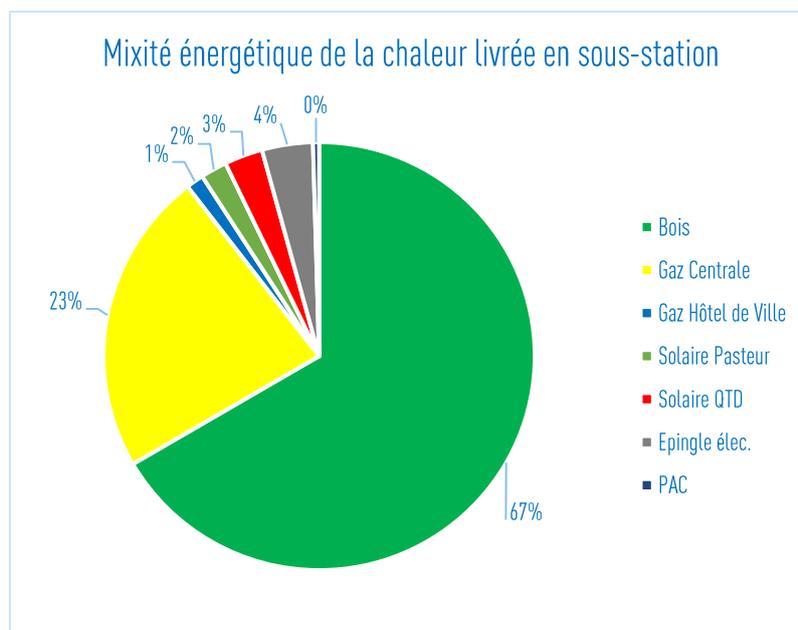


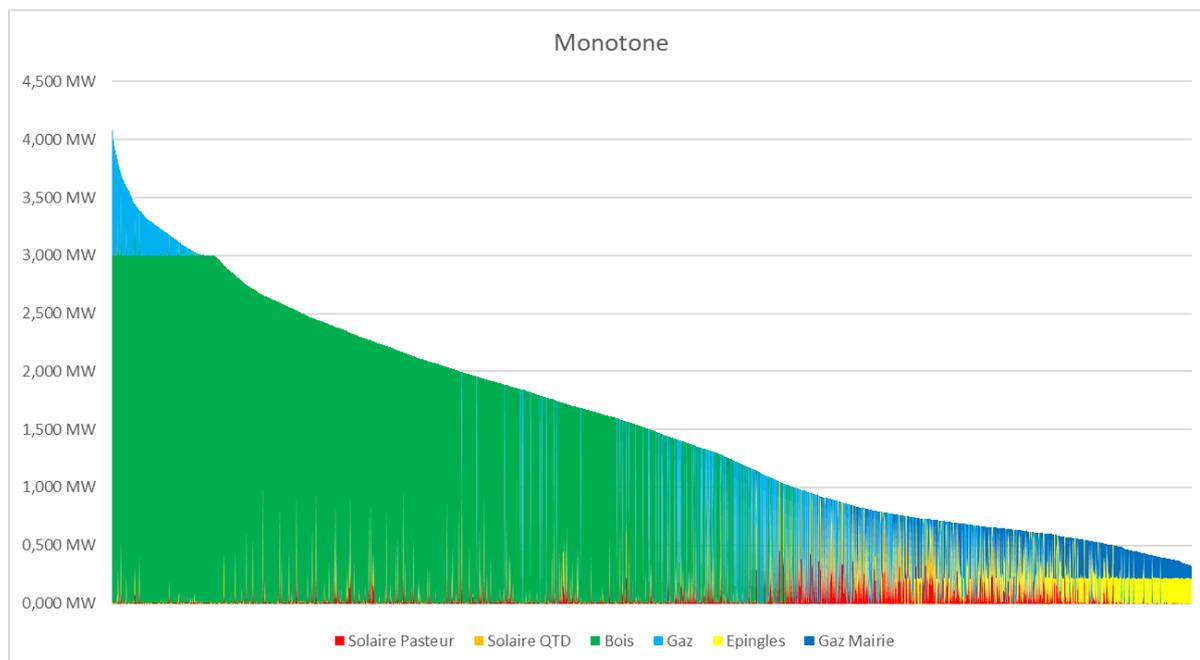
Figure 4 – Mixité énergétique 2021 du réseau

Le taux d'énergie renouvelable et de récupération (ENR&R) sur le réseau est donc d'environ 72 %.

Les données de consommation réelles 2021 sont issues du suivi de la DSP effectué par Itherm Conseil :

Consommations chauffage (MWh _{ut})	Consommation ECS (MWh _{ut})	Consommations Totales (MWh _{ut})
9 160	5 051	14 211

La monotone suivante permet d'appréhender le profil simulé de production du réseau de chaleur :



	Consommation sous-station	Production	Solaire Pasteur	Solaire QTD	Bois	Gaz Centrale	Epingles	Gaz Mairie
Total (MWh)	12 498	13 817	405	484	10 655	1 299	415	559
Puissance maximale atteinte			500 kW	700 kW	3 MW	2,1 MW	200 kW	700 kW
Puissance moyenne			46 kW	55 kW	1,2 MW	150 kW	47 kW	64 kW
Taux de couverture			3 %	3,6 %	79,3 %	9,7 %	3,1 %	4,2 %

La puissance appelée maximale en chaufferie centrale est de 4,2 MW par -7 °C. La chaufferie de Limeil-Brévannes fonctionne alors avec 3 MW d'EnR&R et 1,2 MW d'appoint gaz, ce qui permet de couvrir largement la totalité des besoins.

La production annuelle simulée est de 13 817 MWh, dont 84 % est fourni par le solaire thermique et la biomasse, le reste étant produit par les appoints gaz et électriques (2 273 MWh).

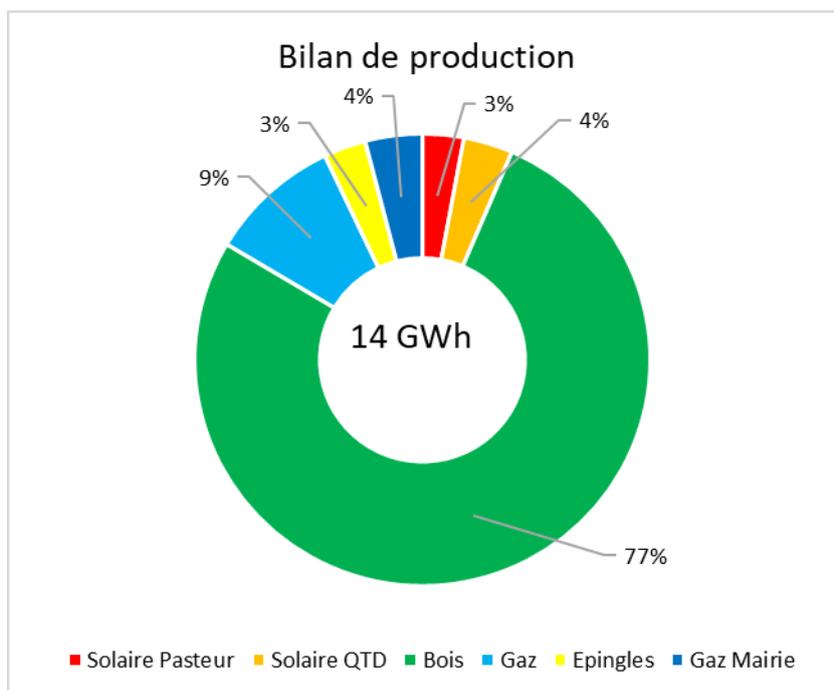


Figure 6 – Bilan de production de la situation de référence du réseau

Mensuellement, la production se répartit de la manière suivante :

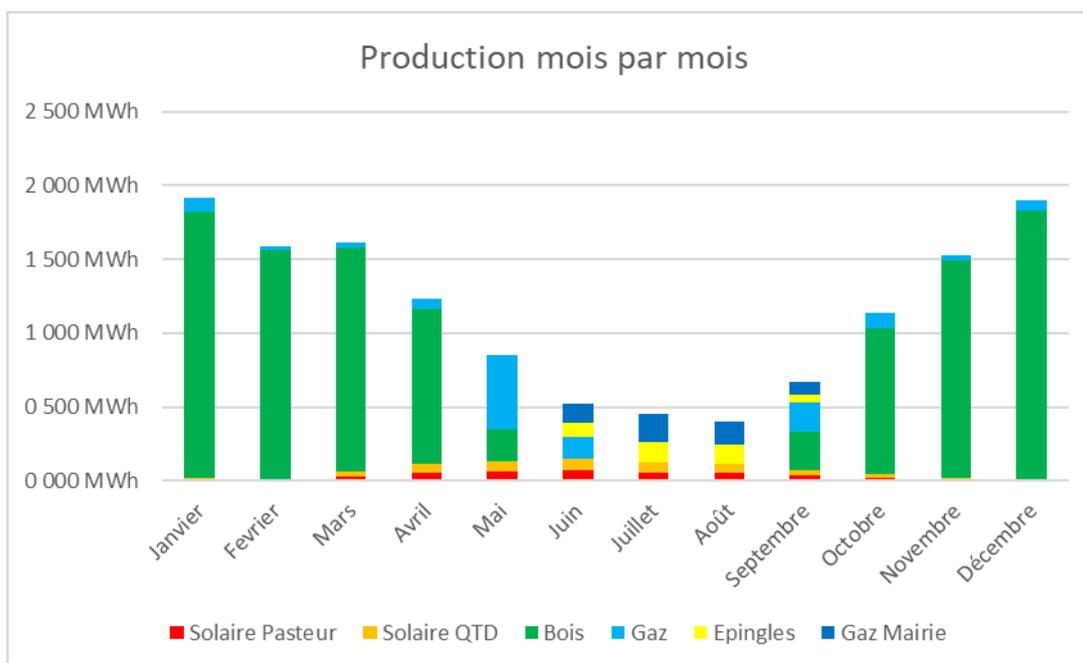


Figure 7 – Répartition mensuelle des besoins de la situation de référence du réseau en conditions standards

6. AUDIT ECONOMIQUE

6.1 Coût de la chaleur / Recettes

En 2021, le tarif moyen du MWh issu du réseau de chaleur de Limeil-Brévannes était de 128,1 €HT soit 135,1 €TTC ; prix très au-dessus de la moyenne nationale des prix du MWh issu d'un réseau de chaleur (80,0 € HT/MWh selon l'enquête Amorce 2021).

Ce prix élevé s'explique par la part importante du R2 dans la tarification du réseau par rapport au R1 car le réseau dessert des écoquartiers peu consommateurs, avec un R2 élevé dû aux surcoûts des périodes transitoires avant la mise en service de la production EnR&R permanente :

- Prix de la chaleur : 128,1 €HT/MWh soit 135,1 €TTC/MWh ;
- R1 = 51,05 €HT/MWh ;
- R2 = 146,41 €HT/kW ;
- Répartition R1/R2 : 29 % / 71 %.

6.1.1 Terme R1

La mixité suivante est établie :

	Mixité (%)	Tarif (€HT/MWh)
<i>R1 bois</i>	70 %	36,01
<i>R1 gaz</i>	15 %	98,03
<i>R1 appoint estival</i>	7 %	159,16
<i>R1 solaire</i>	8 %	0,00
R1 total		51,05

Figure 8 – Décomposition du R1

Une tarification unique est appliquée moyennant la mixité contractuelle pour la tarification et donc le tarif est garanti quelle que soit la mixité réelle.

6.1.2 Terme R2

Le terme R2 est facturé aux abonnés en fonction de leurs puissances souscrites (kW) (chauffage + réchauffage de l'eau chaude sanitaire).

Le R2 est décomposé comme suit :

	Tarif (€/HT/kW)
R21 – relatif à l'énergie électrique utilisée à des fins mécaniques pour assurer le fonctionnement des installations de production et de distribution d'énergie	-5,54
R22 – relatif aux prestations de conduite et de petit entretien, aux frais fixes administratifs nécessaires pour assurer le fonctionnement des installations primaires	62,81
R23 – relatif aux prestations de gros entretien et de renouvellement du matériel	53,23
R24 – charges liées à l'amortissement des ouvrages de la délégation et des frais financiers associés	81,36
R25 – aides ou subventions mobilisables	-45,46
R2 total	146,41

Figure 9 – Décomposition du R2

Le terme R21 est minoré des recettes issues de la vente d'électricité issue des panneaux photovoltaïques selon le prix unitaire moyen de vente d'électricité photovoltaïque pour la période considérée suivant le prix de rachat EDF OA, et vient bénéficier aux abonnés.

Le terme R25 représente les aides ou subventions perçues par le Délégué, et vient bénéficier aux abonnés.

6.2 Frais de raccordement

Les frais de raccordement sont constitués de la somme des frais de branchement définis sur la base des plafonds inscrits au Bordereau de Prix Unitaires annexé au contrat.

6.3 Investissements, subventions

Tous les travaux de premier établissement ont été achevés en 2015.

En raison des investissements conséquents réalisés par la DSP en début de contrat, et dans une volonté de proposer un tarif de la chaleur compétitif, une valeur résiduelle de 1,5 M€ est prévue par l'Avenant 4 en fin de contrat en 2045. Ce montant pourra constituer une valeur d'entrée pour un prochain contrat.

6.4 Charges

6.4.1 Charges de combustibles

En moyenne sur 6 ans, les charges de combustibles pour le fonctionnement du réseau de chaleur de la ville de Limeil-Brévannes sont estimées à :

- Bois : 305 k€HT/an, soit 23,61 €HT/MWh_{PCI} ;
- Gaz : 163 k€HT/an, soit 50,90 €HT/MWh_{PCS} ;
- Electricité : 81 k€HT/an, soit 191,15 €HT/MWh_{elec.}

Contrairement à la relative stabilité offerte par les ENR&R, la part gaz peut être amenée à fluctuer fortement d'une saison sur l'autre en raison de la volatilité du cours du gaz, énergie fossile.

6.4.2 Charges d'exploitation

Les charges P2 s'élèvent en moyenne à 540 k€HT/an, soit 42,0 €HT/MWh. Ce montant est confortable mais demeure cohérent.

Parmi ces charges, les redevances pour la Ville de Limeil-Brévannes (occupation du domaine public, contrôle) sont évaluées à 65 k€HT/an. Elles représentent 5,0 €HT/MWh sur le prix de la chaleur.

6.4.3 Charges de Gros Entretien et Renouvellement

Les charges P3 s'élèvent à 367 k€HT sur les 6 dernières années, soit 61,2 k€HT/an, ce qui est globalement cohérent. Ce niveau de dépenses permet de subvenir aux besoins de mise à niveau des installations.

Le contrat prévoit une restitution de l'éventuel solde positif du compte P3 à l'échéance du contrat selon la répartition suivante :

- . 2/3 reversés à la Ville ;
- . 1/3 conservé par le Délégué.

7. ETAT DES LIEUX DES SOURCES DE CHALEUR A PROXIMITE

Dans le cadre du présent schéma directeur, un état des lieux des sources de chaleur situées à proximité du réseau actuel est réalisé, dans le but de :

- Mutualiser les équipements existants, en envisageant des interconnexions entre réseaux de chaleur ;
- Augmenter la part des énergies renouvelables et de récupération, en utilisant prioritairement des sources d'énergie déjà existantes.

7.1 Démarche EnR'Choix

Dans le cadre de sa politique d'accompagnement énergétique auprès des différents acteurs du territoire francilien (collectivités territoriales, aménageurs publics ou privés), l'ADEME Ile-de-France a développé un outil méthodologique et d'information afin de guider les décideurs dans leurs orientations énergétiques. Cet outil d'aide à la décision a été baptisé EnR'Choix. Convaincu de la pertinence de cette méthodologie, ITherm CONSEIL l'applique pour toutes ses missions.

Le premier volet de ce guide correspond aux notions de sobriété et d'efficacité énergétique :

- La sobriété énergétique correspond à la suppression ou la limitation des consommations d'énergie superflues par un meilleur usage du bâtiment et de ses équipements ;
- L'efficacité énergétique d'un bâtiment ou d'un équipement est le rapport entre la quantité d'énergie utilisée et la quantité d'énergie consommée. Son amélioration passe par :
 - L'isolation, la ventilation des bâtiments, et le renouvellement des équipements de chauffage ;
 - La mise en place de pratiques permettant de diminuer et réguler la consommation d'énergie tout en maintenant un niveau de service équivalent.

Le deuxième volet se penche sur la production de chaleur pour un bâtiment ou un parc de bâtiments, et est résumé sur la figure ci-dessous. Le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire par réseau de chaleur (existant ou à créer) y sont fortement encouragés, avant d'envisager la mise en place de solutions individuelles.

La troisième étape correspond à l'optimisation du choix de la source de chaleur en vue d'alimenter un réseau de chaleur, en favorisant les énergies locales et non délocalisables telles que la chaleur fatale ou la géothermie, avant d'envisager d'autres sources d'EnR&R telles que la biomasse.



Figure 10 – Démarche EnR'Choix de l'ADEME

7.2 Réseau publics et privés à proximité du réseau

Les réseaux de chaleur aux alentours de la Ville de Limeil-Brévannes sont répertoriés sur la carte suivante.

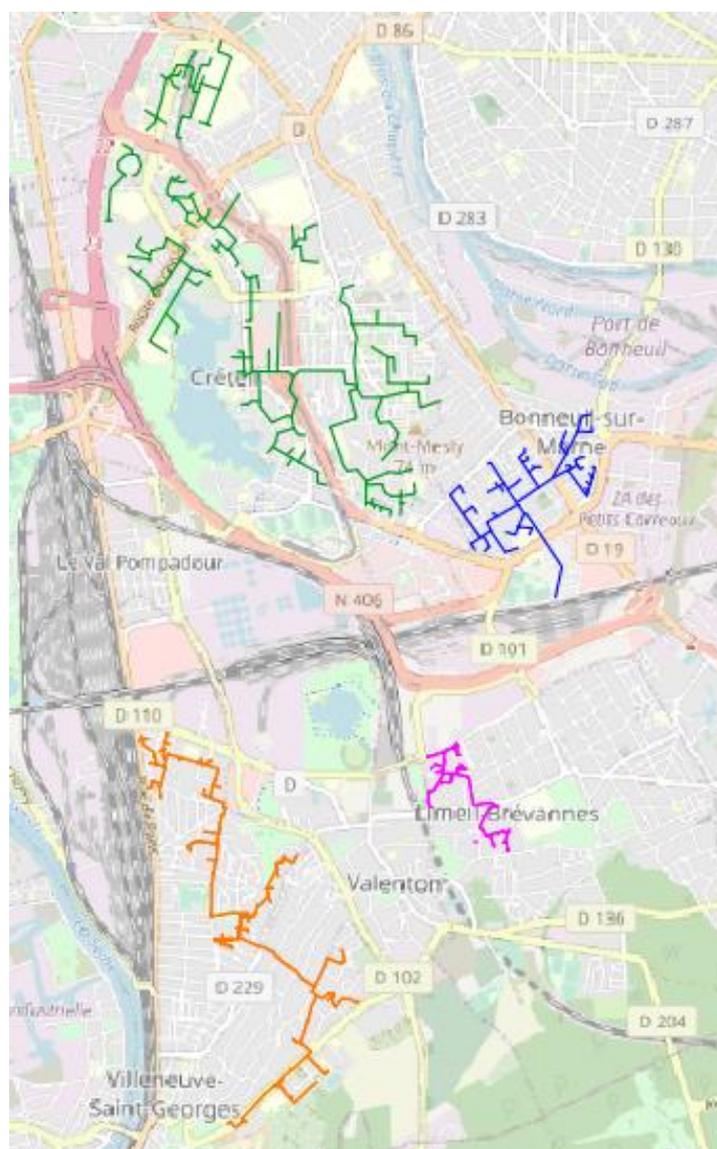


Figure 11 – Réseaux de chaleur présents à proximité du réseau de chaleur de la Ville de Limeil-Brévannes

Trois autres réseaux de chaleur sont recensés dans cette partie du département du Val-de-Marne :

- Le réseau de chaleur de la Ville de Créteil ;
- Le réseau de chaleur de la Ville de Bonneuil-sur-Marne ;
- Le réseau de chaleur des Villes de Villeneuve-Saint-Georges et Valenton.

Le réseau de chaleur de la Ville de Créteil est alimenté en EnR&R depuis l'UVE de Créteil. Ce réseau est en cours d'extensions sur la Ville de Créteil et ne dispose donc pas d'une capacité d'EnR&R supplémentaire à céder au réseau de Limeil-Brévannes. L'UVE de Créteil doit même voir sa capacité augmenter à termes pour assurer les livraisons du réseau en extension.

Le réseau de chaleur de la Ville de Bonneuil-sur-Marne est alimenté en EnR&R par de la géothermie profonde au Dogger. Ce réseau est en extensions sur la Ville de Bonneuil-sur-Marne et ne dispose donc pas d'une capacité d'EnR&R supplémentaire à céder au réseau de Limeil-Brévannes. Un nouveau puit à même été foré en 2018 pour assurer les livraisons du réseau en extension.

Le réseau de chaleur des Villes de Villeneuve-Saint-Georges et Valenton est alimenté en EnR&R par de la géothermie profonde au Dogger. Ce réseau est en extensions sur la Ville de Valenton et prévoit de s'étendre plus au Sud sur la Ville de Crosne pour raccorder le centre hospitalier intercommunal. Il ne dispose donc pas d'une capacité d'EnR&R supplémentaire à céder au réseau de Limeil-Brévannes.

7.3 Récupération de chaleur fatale

7.3.1 Principe

Suivant la définition de l'ADEME, « la chaleur fatale désigne la chaleur résiduelle issue d'un procédé dont l'objectif principal n'est pas la production de cette chaleur. Elle est considérée comme une énergie n'émettant pas de CO₂, puisqu'il s'agit d'une ressource qui est de toute façon produite puis rejetée sans valorisation ».

Cette chaleur, normalement dissipée et perdue, est alors valorisée sur un autre process, interne ou externe, et peut dans certaines conditions, être injectée sur un réseau de chaleur.

Cette chaleur, locale et non délocalisable car liée au process existant, est perdue si elle n'est pas valorisée. Il s'agit donc de la première source d'EnR&R à valoriser.

Le schéma ci-dessous présente les modalités de valorisation de la chaleur fatale.

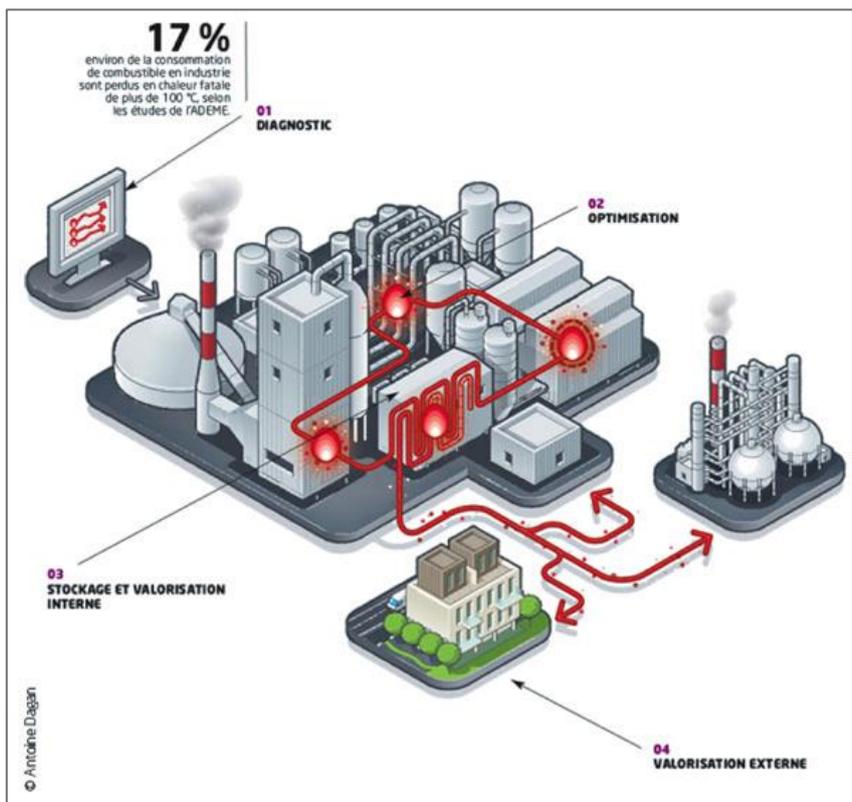


Figure 12 – Modalités de valorisation de chaleur fatale. Source : Antoine Dagan

Le schéma ci-dessous reprend les différentes sources de chaleur fatale, leur état et leur température.

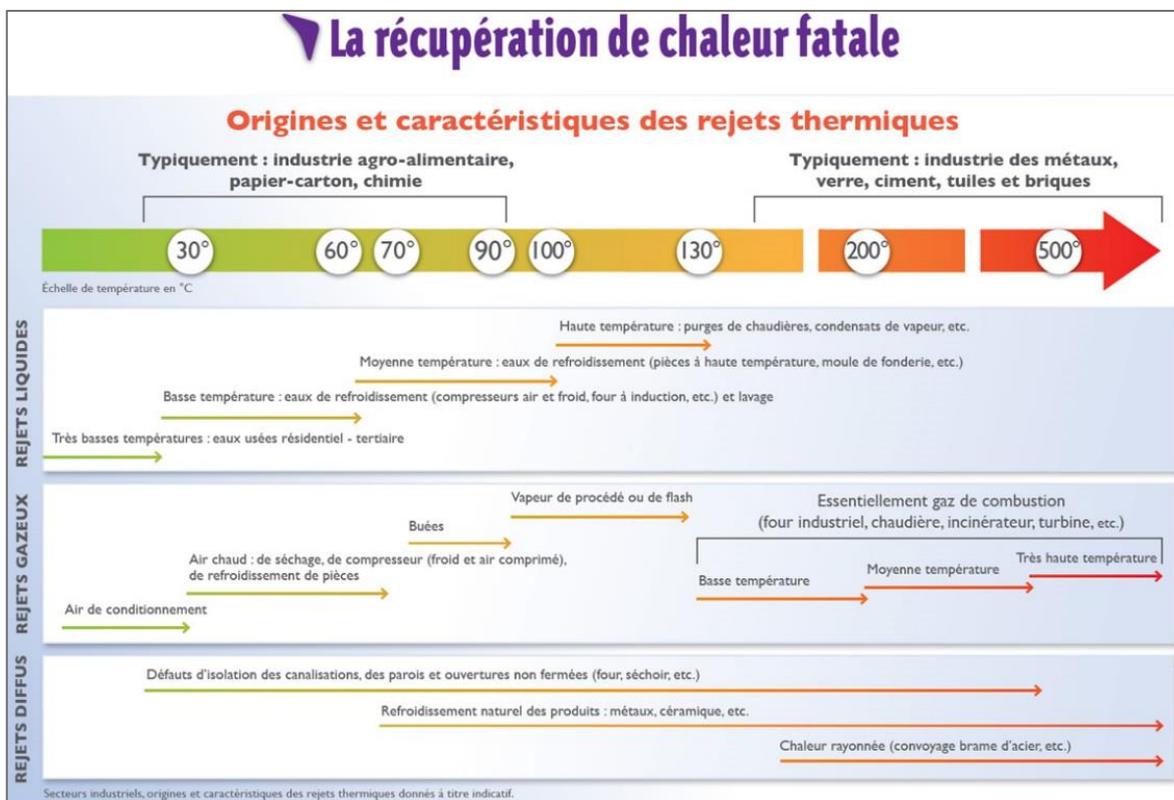


Figure 13 – Caractéristiques des différents types de chaleur fatale et classification. Source : ADEME

Les principaux gisements permettant la valorisation de chaleur fatale sur un réseau de chaleur sont :

- Les UIDND (Usine d'Incinération des Déchets Non Dangereux) avec la valorisation énergétique de la chaleur produite par l'incinération des déchets ;
- Les Data Center, qui présentent de forts besoins de refroidissement pour maintenir les installations informatiques dans des conditions optimales de fonctionnement. Le refroidissement représente une part importante de la consommation électrique, et la récupération de chaleur sur les groupes froids est possible ;
- Les eaux usées, qui représentent une source d'énergie très basse température disponible même en milieu urbain dense ;
- Les autres industries aux profils divers.

D'une manière globale, la récupération de chaleur fatale sera un domaine dont l'essor, dans les prochaines années, devrait être conséquent.

7.3.2 Contraintes

Les UIDND, STEP, Data Center et autres sites industriels sont souvent excentrés des zones résidentielles en vue de limiter les nuisances aux riverains. La récupération de chaleur fatale sur ces installations nécessite donc un gisement suffisant pour justifier économiquement les investissements de liaison.

Ces installations sont aussi entourées d'un certain secret industriel en vue de protéger le savoir-faire de l'entreprise. Ce secret industriel entraîne une difficulté supplémentaire dans la mise en œuvre d'une récupération de chaleur, et en particulier dans l'analyse de la faisabilité, avec une partie des données nécessaires au dimensionnement pas toujours disponible.

La récupération de chaleur fatale est aussi soumise aux variations des process industriels, comme les arrêts des machines la nuit, les périodes de maintenance ou de pannes, ne permettant pas une disponibilité constante. Les exigences particulières aux différents sites (tenue, accès, etc.) peuvent aussi être un frein à la mise en place d'une récupération de chaleur fatale.

Quel que soit le type de récupération de chaleur fatale mis en place, la contractualisation de ce processus via une convention de vente de chaleur est impérative en vue de déterminer :

- Les modalités de financement des ouvrages ;
- Les caractéristiques de la chaleur fournie ;
- Les limites de prestations ;
- Les quantités de chaleur et la disponibilité de celle-ci, sur une année, et dans le temps ;
- Les modalités de répartition des quotas CO₂ le cas échéant ;
- Le prix de la chaleur fournie et son évolution ;
- Les engagements des différentes parties et les éventuelles pénalités ;
- Etc.

Il est à noter que les industriels (hors UIDND), sont peu habitués à ce type de projets de récupération de chaleur fatale ainsi qu'aux engagements de longue durée. En effet, les cycles industriels s'étendent sur quelques années quand les projets de

service public sont portés sur des périodes beaucoup plus longues. Ils peuvent donc se montrer réticents à prendre de tels engagements contractuels.

7.3.3 Ressource disponible

Usines d'Incinération des Déchets Non Dangereux (UIDND)

Anciennement nommées UIOM, les UIDND présentent un intérêt certain. L'avantage principal de ce système est la possibilité de cogénération, soit de valorisation de cette masse de déchets pour produire à la fois de la chaleur et de l'électricité.

Sur le territoire étudié, l'**incinérateur de Créteil** entre dans cette catégorie. Il est devenu une Usine de Valorisation Énergétique (UVE) depuis son raccordement au réseau de chaleur de la Ville de Créteil. Un projet est en cours pour augmenter la capacité de l'UVE avec l'ajout d'une troisième ligne de traitement. Ce projet a notamment pour but d'augmenter les livraisons de chaleur au réseau de Créteil en extension, de permettre des livraisons de chaleur à des industriels locaux et de permettre des livraisons de chaleur au réseau de chaleur de Paris (CPCU) via une interconnexion à Vitry-sur-Seine. Il n'y a donc pas de chaleur EnR&R actuelle ou à venir disponible pour le réseau de Limeil-Brévannes.

Data Centers

Ces bâtiments sont des gros consommateurs d'énergie puisqu'approximativement 2,5 kW/m² sont nécessaires à leur bon fonctionnement. A titre de comparaison, un Data Center aussi grand qu'un terrain de football consommerait autant d'électricité qu'une ville de 60 000 habitants.

Un Data Center nécessite d'être refroidi en permanence via des groupes froids, qui consomment une grande quantité d'énergie (plus de la moitié de la consommation totale du centre). La chaleur dégagée par ces groupes froids est habituellement évacuée sous forme d'air chaud. Cette chaleur fatale peut donc être récupérée et valorisée sur un réseau de chaleur.

Les températures de rejets sont, en fonction de la technologie du Data Center, comprises entre 35°C (pour les plus anciens Data Center) et 60°C (pour les plus récents). Couplés à une pompe à chaleur, ces rejets peuvent permettre d'alimenter un réseau jusqu'à 75/80°C.

Aucun data center n'a été recensé sur le territoire de l'étude.

Eaux usées

Les eaux usées sont des eaux polluées (effluents) constituées de toutes les eaux susceptibles de contaminer le milieu dans lequel elles seraient déversées ; elles sont issues de l'utilisation anthropique (artisanale, agricole, industrielle...). La température de ces eaux est relativement constante (entre 12 et 20°C) sur l'ensemble de l'année.

On parle d'eaux « grises » pour des eaux peu polluées d'origine domestique résultant de douches, de lavage de mains, de vaisselles ou les eaux pluviales. On parle d'eaux « noires » lorsque les matières qu'elles contiennent sont des substances plus polluantes.

Aux alentours de Limeil-Brévannes, il existe l'usine de dépollution des eaux usées du SIAAP Seine amont (représenté sur la carte ci-dessous). Ce site a un potentiel de chaleur basse température valorisable d'environ 77 GWh d'après le recensement des sources de chaleur fatale à proximité de Limeil-Brévannes de l'ADEME, établi le 4 Avril 2021 et basé sur les données des années 2015 et 2016.

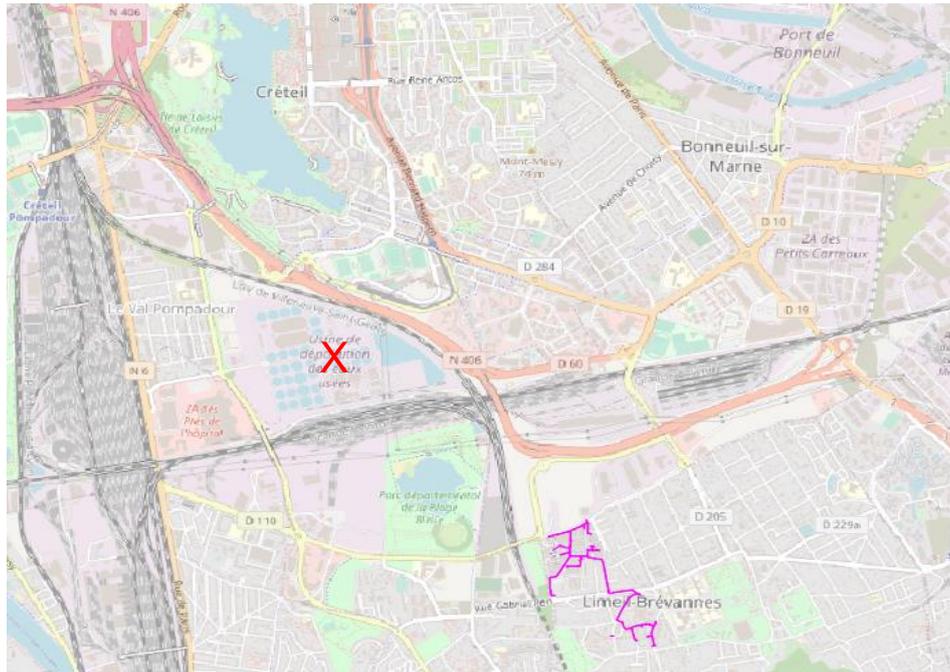


Figure 14 – STEP recensée à proximité de la Ville de Limeil-Brévannes

Cependant, en raison de son éloignement de la commune de Limeil-Brévannes (1,8 km) et de sa difficulté d'accès (franchissement de voies ferrées et/ou de route nationale), cette STEP présente peu d'intérêt pour le réseau de chaleur de la Ville de Limeil-Brévannes.

Un projet est toutefois envisagé par le SIAAP à horizon 2027-2028 pour l'optimisation de la récupération de chaleur des fours de séchage et d'incinération des boues. Le SIAAP serait donc à recontacter dans le cadre du prochain schéma directeur du réseau de Limeil-Brévannes.

Autres industries

Les différents sites présentant potentiellement de la chaleur fatale valorisable à proximité de Limeil-Brévannes ont été récupérés auprès de l'ADEME

Ci-dessous, les différents sites qui ont été recensés :

Nom établissement	Activité principale	Commune	Potentiel valorisable	Distance de la centrale du réseau
Saint-Gobain Weber	Fabrication d'éléments en verre pour la construction	Bonneuil-sur-Marne	11,3 GWh	3,2 km
SGD Pharma	Fabrication de préparations pharmaceutiques	Bonneuil-sur-Marne	2,4 GWh	2,7 km

Figure 15 – Sites présentant de la chaleur fatale recensés à proximité de la Ville de Limeil-Brévannes

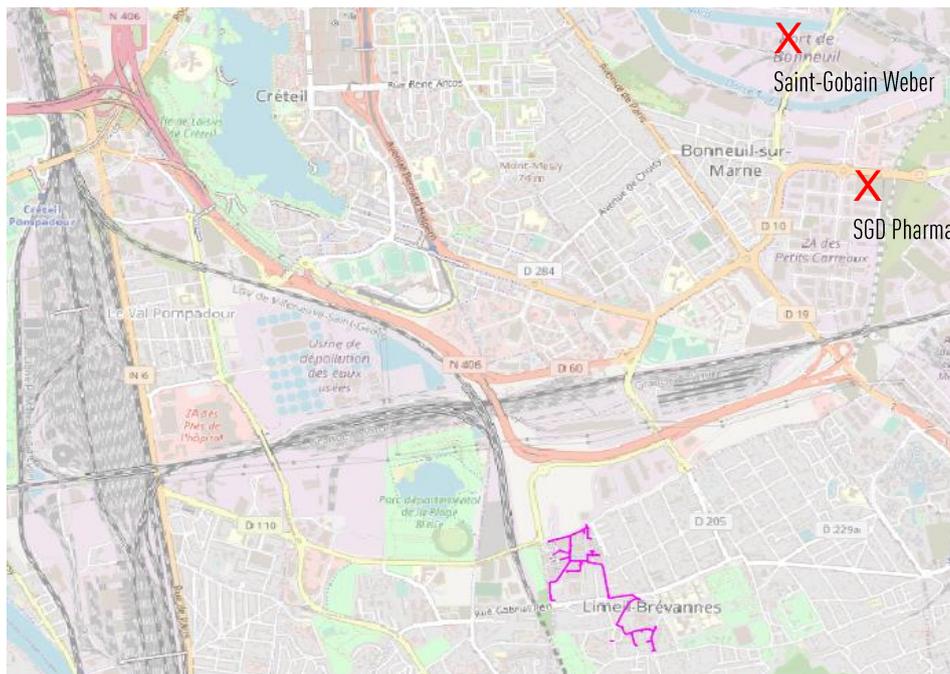


Figure 16 – Cartographie des sites présentant de la chaleur fatale à proximité de Limeil-Brévannes

Un important potentiel EnR&R a été remarqué mais les sites en question sont excentrés des consommateurs de chaleur de Limeil-Brévannes.

Sur le périmètre d'étude, aucun site industriel pouvant permettre une valorisation de chaleur fatale n'a donc été retenu.

7.4 Géothermie

7.4.1 Principe

La géothermie est l'exploitation de la chaleur de la terre grâce à un fluide, circulant dans une formation géologique ciblée (aquifère), dont on utilise les calories en fonction de la température, soit directement par un échangeur de chaleur, soit par transformation thermodynamique dans une pompe à chaleur ou une turbine, soit un mixte des différentes solutions. Cette ressource locale et non délocalisable présente un gradient géothermique de 3,3 °C tous les 100 mètres de profondeur.

Trois grands types de géothermie existent :

- La géothermie très basse énergie (10 à 40 °C) et à faible profondeur. Cette énergie peut être soit utilisée directement pour les besoins de chaleur nécessitant de très faibles températures, soit couplée à une pompe à chaleur en vue d'utilisation à des températures plus élevées.
- La géothermie basse énergie, qui est habituellement utilisée dans le cadre du chauffage urbain et sur laquelle cette étude se concentrera.

- La géothermie haute énergie, dénommée profonde ci-dessus, permettant d'alimenter en vapeur des centrales de production d'électricité.

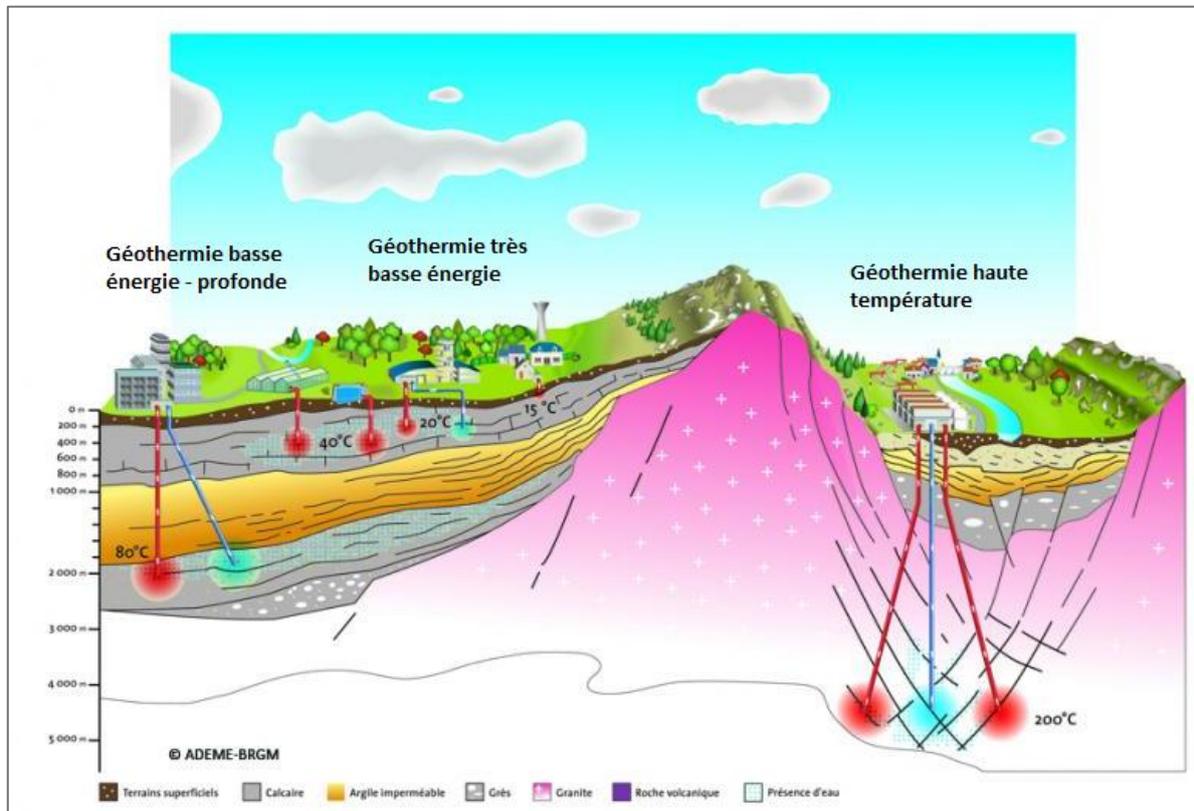


Figure 17 - Différents type de géothermie. Source : ADEME et BRGM

Quelle que soit la ressource géothermale utilisée, les contraintes environnementales ou réglementaires imposent l'exploitation géothermique des aquifères avec un doublet géothermique. Il s'agit de créer au minimum un puits de production et un puits de réinjection permettant de réintroduire la quantité de fluide extraite du puits de production dans son réservoir d'origine en vue de pérenniser la ressource.

Le point de prélèvement dans le réservoir et le point de réinjection dans ce même réservoir doivent être suffisamment espacés, afin de ne pas dégrader, au cours de la durée d'exploitation, la température au puits de production par la venue d'une bulle froide en provenance du puits de réinjection (phénomène de percée thermique).

La boucle géothermale, c'est-à-dire la boucle de l'eau prélevée au sous-sol, est constituée :

- d'un puits de production dans lequel une pompe d'exhaure immergée assure le débit de production ;
- d'un système de prélèvement de chaleur (échangeur géothermique) ;
- d'une ou plusieurs pompes de réinjection pouvant pousser le fluide géothermal « froid » vers le puits de réinjection ;
- du puits de réinjection véhiculant le fluide « froid » dans l'aquifère.

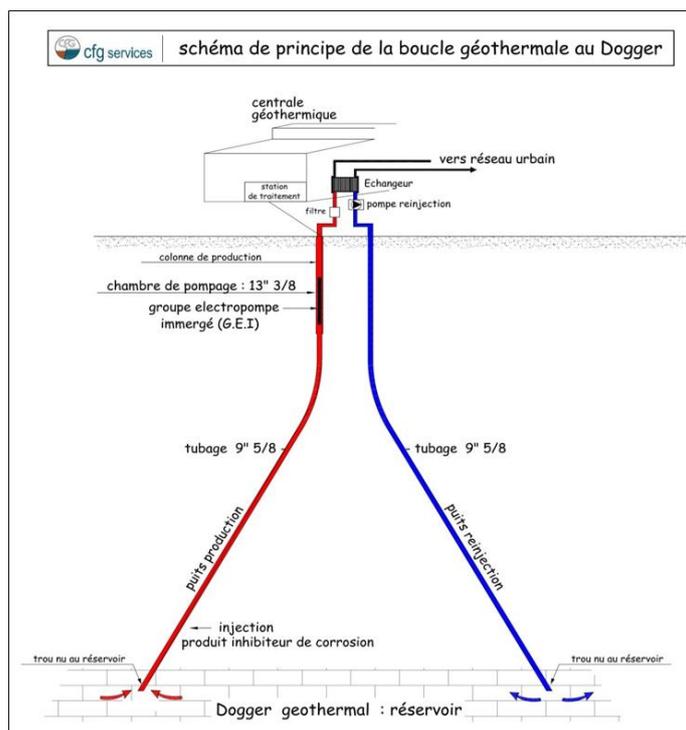


Figure 18 – Schéma de principe d'un doublet géothermique au Dogger. Source : CFG Services

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie profonde (haute et basse énergie) a l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). Elle est de plus disponible 24h/24 toute l'année. C'est donc une source d'énergie quasi-continue car elle est interrompue uniquement par des opérations de maintenance sur la boucle géothermale, la centrale géothermique ou le réseau de distribution d'énergie. Les gisements géothermiques, en fonction de leur dimensionnement, ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années (plus de 30 ans en moyenne).

Au début des années 1980, la géothermie basse énergie a connu un rapide démarrage sous les effets des chocs pétroliers et de la mise en place de politiques incitatives. Une cinquantaine d'opérations, en majorité dans le Bassin parisien, sont alors réalisées jusqu'en 1985. A cette date, des problèmes économiques (cours du pétrole), techniques (corrosion et dépôts dans les tubages) et financiers (prêts contractés avec des taux élevés en période d'inflation vite révolue) stopperont net le développement de la filière.

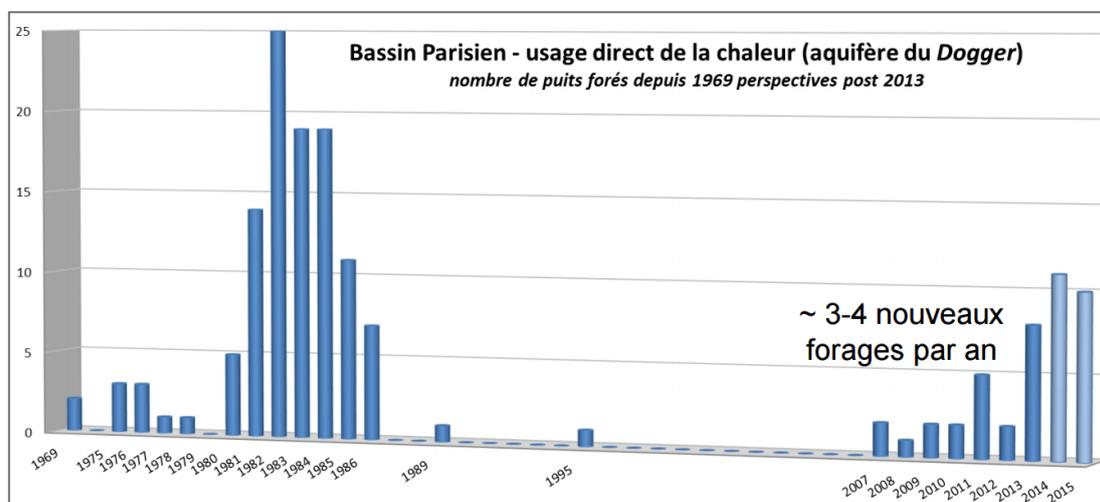


Figure 19 – Nombre de doublets au Dogger mis en service depuis 1969 - Exemple du Bassin parisien. Source : BRGM (2013)

En 2007, après 12 ans sans forage géothermique profond, la réalisation d'un nouveau doublet à Orly Le Nouvelet marque le début de la reprise de la filière. Il sera suivi par la conversion en triplet du doublet de Sucy-en-Brie et par la première opération de géothermie profonde à Paris, Porte d'Aubervilliers. Début 2010, Aéroport de Paris fait réaliser un nouveau doublet à Orly, et plusieurs doublets ont depuis été forés (Tremblay-en-France, Blanc-Mesnil, Bagneux, Rosny-sous-Bois, Arcueil, Bobigny-Drancy, etc.).

La majorité des exploitations actuelles se concentre sur l'aquifère du Dogger, mais l'exploitation d'autres aquifères est en pleine essor, en particulier l'Albien, moins profond, qui fait à ce jour l'objet de quelques réalisations sur des ZAC, telles que Paris Clichy-Batignolles, Fort d'Issy-les-Moulineaux, Paris-Saclay.

Différentes nappes peuvent et sont alors exploitées mais ne sont pas disponibles partout en France. L'analyse suivante se base sur les données communiquées par le BRGM et sur celles disponibles sur le site géothermie.fr

7.4.2 Contraintes

La réalisation d'un doublet géothermique nécessite une certaine surface pour les installations de forage (5 000 m² à enrober) puis pour l'exploitation et la maintenance (moins de 1 500 m² mobilisés ponctuellement). Ce terrain doit permettre une bonne adéquation entre la ressource sous-sol et les besoins en surface. Cette question de l'emprise doit être étudiée en amont pour permettre de respecter un certain nombre de contraintes réglementaires (plus de 50 m d'une voie ferrée, hors d'emprise sous-sol d'autres installations, etc.), et techniques (accès du site, nuisances, conditions topographiques).

De plus, l'exploitation de la ressource géothermale est conditionnée à un certain nombre de contraintes qui ont pour but de pérenniser la ressource et de réglementer l'utilisation des aquifères entre leurs différents usages possibles.

Ce deuxième point est particulièrement vrai :

- pour les nappes de l'Albien et du Néocomien, considérées comme des réserves stratégiques en eau potable pour l'alimentation de la région parisienne.
- pour le Dogger, aquifère le plus exploité de nos jours où les installations ne doivent pas interférer les unes avec les autres, surtout dans les zones fortement mobilisées.

La réalisation d'un doublet géothermique est conditionnée à l'obtention d'un permis d'ouverture des travaux d'exploration (PER-DOTEX). Le dossier de demande décrit l'usage qui sera fait de la ressource, les moyens de protection mis en œuvre, les différents impacts et des modélisations de l'aquifère visé en vue de s'assurer de la pérennité de la ressource sur la durée d'exploitation prévue. Ce dossier doit aussi montrer la bonne prise en compte des réglementations régissant l'exploitation géothermale :

- Code Minier : un gîte géothermique est considéré comme une mine (articles L112-1 et L112-2) ;
- Règlement Général des Industries Extractives (RGIE) : ce décret introduit le titre « Recherche par forage, exploitation de fluides par puits et traitement de ces fluides » ;
- Code de l'Environnement.

A terme, la réglementation des exploitations géothermiques pourrait se rapprocher de celle des ICPE.

Ce permis est délivré par la préfecture ou via un arrêté inter-préfectoral lorsque la future exploration portera au droit de plusieurs départements. Ce permis est accordé après instruction par différents services de l'état (DRIEE, Inspection Générale des Carrières, etc.) et enquête publique. Une fois les travaux de forage réalisés, les DOE du forage sont transmis à la préfecture

qui, après nouvelle consultation de la DRIEE, transforme le PER-DOTEX en permis d'exploitation (PEX) pour une durée déterminée. Ce permis d'exploitation rappelle les contrôles et opérations de maintenance à réaliser à intervalle réguliers, les limites d'exploitation, etc.

7.4.3 Ressource locale

Ci-dessous sont proposées les cartes présentant le potentiel et la disponibilité géothermique au droit de la Ville de Limeil-Brévannes.

Source : BRGM

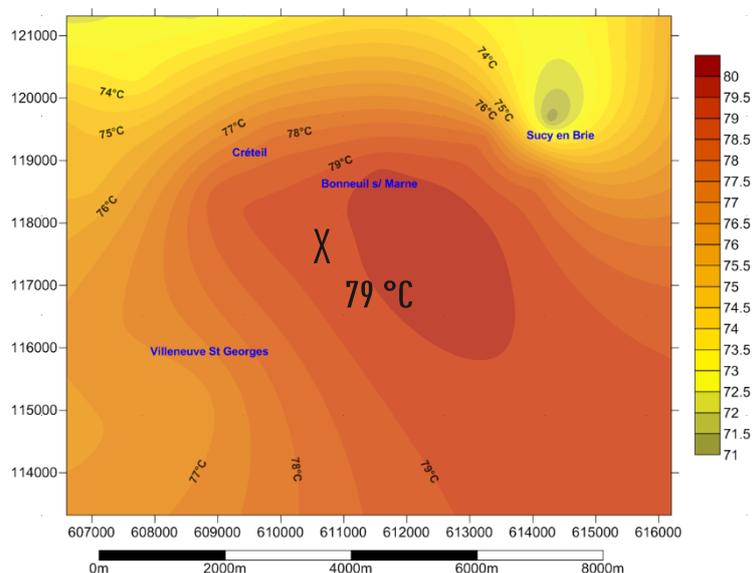


Figure 20 – Gradient de température au Dogger

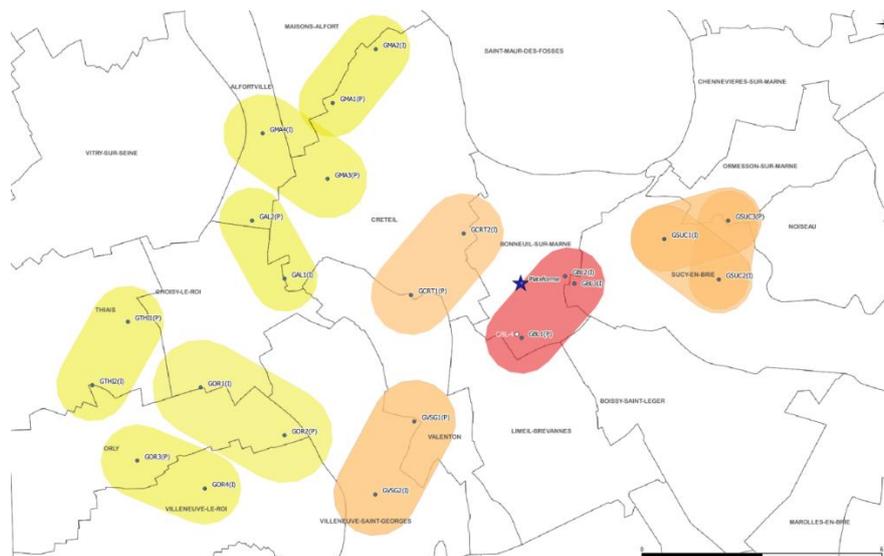


Figure 21 – Emprise des gélules géothermiques au Dogger

La Ville de Limeil-Brévannes présente un potentiel intéressant en géothermie basse énergie, avec une température au Dogger d'environ 79 °C. Cependant la disponibilité de la ressource n'est pas garantie car la Ville est contrainte par l'emprise des gélules des géothermies profondes existantes des réseaux des Villes de Bonneuil-sur-Marne, de Créteil et de Villeneuve-Saint-Georges et Valenton.

De plus, un projet en géothermie profonde trouve une rentabilité à partir de besoins en EnR&R d'environ 50-60 GWh.

7.5 Biomasse

7.5.1 Principe

La matière première de la filière biomasse provenant de sources vivantes, celle-ci répond donc à un certain cycle de vie. Pour que la ressource soit qualifiée de renouvelable, il ne faut pas que la ressource soit surexploitée, ni que l'exploitation de celle-ci bouleverse la biodiversité ou l'équilibre entre les différents usages des terres.

Cette énergie est donc considérée comme une énergie renouvelable à condition que les forêts bénéficient d'une gestion durable et que la somme des émissions de gaz à effet de serre liées aux transformations, aux transports et à la combustion puisse être absorbée lors de la croissance des arbres. La biomasse s'appuie donc sur le cycle du carbone et la capacité métabolique des arbres à réaliser la photosynthèse.

Le principe de fonctionnement est simple mais impose des contraintes pour la livraison/stockage, pour le contrôle des émissions, pour le traitement des fumées ainsi que sur la récupération des cendres. Cette filière permet d'intégrer facilement une énergie renouvelable à l'ensemble des réseaux, qu'ils soient vapeur, eau surchauffée ou eau chaude.

Elle permet aussi une revalorisation des résidus cendreux issus de la combustion (en engrais) et même dans certains cas une revalorisation des fumées permettant ainsi un développement de l'économie locale avec l'apparition de nouveaux emplois.

Une fois livré, le combustible est stocké avant d'être inséré dans le foyer. Il subit alors différentes transformations lors du passage à travers les deux types d'échangeurs (radiatif et convectif) :

- L'eau contenue dans le combustible s'évapore grâce à la chaleur du foyer ;
- Une fois l'eau évaporée, ce sont les gaz combustibles volatils qui sont libérés par pyrolyse. Cette partie sera ensuite brûlée en phase gazeuse ;
- La fraction solide restante (résidus charbonneux) brûle vers l'aval du foyer, il ne reste alors plus que des cendres ;
- Un traitement des fumées s'effectue ensuite par un dépoussiéreur multicyclones, un filtre à manches traite alors les poussières restantes les plus fines.

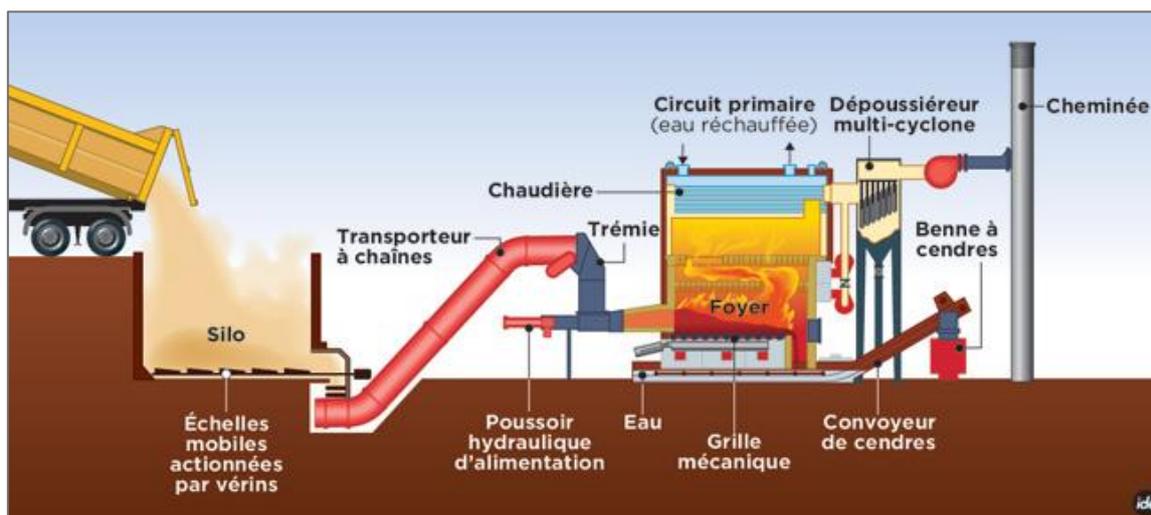


Figure 22 – Schéma de principe d'une chaufferie biomasse. Source : IDé

On distingue, selon les technologies et l'utilisation que l'on veut en faire, différents combustibles pour le chauffage au bois :

- Les produits connexes issus des industries du bois : sciures, copeaux, plaquettes et broyats, dosses, chutes de tronçonnage, éléments de charpentes, etc.
- Les produits en fin de vie : palettes ou autres éléments de bois. Ces éléments sont majoritairement issus de la grande distribution, d'industries, de déchetteries ou encore de plateformes de construction.
- Les plaquettes forestières : obtenues à partir du broyage/déchiquetage de végétaux ligneux sur des peuplements n'ayant subi aucune transformation.

Sur les deux premiers produits, certains peuvent contenir des adjuvants ou traitements dans une certaine proportion (panneaux mélaminés, panneaux de process bruts). L'utilisation de cette ressource biomasse est donc contrôlée par la DRIEE.

Les paramètres jouant sur l'efficacité de ces combustibles sont l'humidité, la granulométrie, les taux des différents composés (azote, soufre, chlore, potassium), le taux de cendres ainsi que la température de fusion de ces cendres.

Le « Plan Bois-Energie et Développement Local » initié par l'ADEME et inscrit dans le cadre du Contrat de Plan Etat-ADEME sur la période 2000-2006 avait pour objectif d'accentuer le développement de chaufferies bois et de structurer de véritables filières locales d'approvisionnement en combustibles.

7.5.2 Contraintes

Les conditions d'implantation d'une chaufferie biomasse sont relativement contraignantes. En effet :

- Une emprise au sol importante est requise pour garantir l'implantation des zones de stockage, de manutention et les installations de combustion ;
- L'accès pour les livraisons de combustible doit être aisé (réseau routier, voies ferrées, etc.) ;
- L'emplacement doit être pertinent vis-à-vis du tracé du réseau projeté ou à équiper ;

Une chaufferie biomasse peut être une ICPE à plusieurs titres :

- En tant que chaufferie, il s'agit d'une ICPE sous la rubrique 2910 soumise à déclaration si la puissance est supérieure à 1 MW et inférieure à 20 MW ou à autorisation si la puissance de la chaufferie est supérieure à 20 MW ;
- En tant que dépôt de bois sec ou matériaux combustibles analogues, il s'agit alors d'une ICPE sous la rubrique 1532 soumise à déclaration.

L'ensemble des obligations réglementaires sont définies par la catégorie de classement. En exploitation, ces installations doivent faire l'objet d'un contrôle rigoureux :

- Des émissions, pour vérifier le bon traitement des fumées et de récupération des cendres, et ainsi éviter toute pollution atmosphérique.
- De gestion de l'approvisionnement.

7.5.3 Ressource

Les différentes ressources de biomasse mobilisables peuvent être les suivantes :

- Plaquettes forestières ;
- Connexes de scierie ;
- Bois recyclé de classe A ;
- Bois d'élagage et de refus de criblage ;
- Anas de Lin ;
- Miscanthus.

Les chaufferies biomasse peuvent également servir en production locale.

De manière générale, la fourniture doit se faire dans un rayon de moins de 100 km. Ceci est rendu possible avec l'existence de nombreuses plateformes de distribution. Le cercle jaune représente le rayon de 100 km autour du périmètre d'étude.

Il est rappelé que le réseau de chaleur de Limeil-Brévannes dispose d'ores et déjà d'une chaufferie Biomasse centralisée de 3 MW. Cette chaufferie est aujourd'hui utilisée à environ 40% de sa capacité maximale sur l'année, avec un arrêt technique saisonnier de Mai à Septembre inclus par manque de consommations sur le réseau. Il existe donc un fort potentiel de valorisation supplémentaire d'EnR&R sur l'installation existante.

7.6 Biogaz

7.6.1 Principe

C'est la décomposition de matières organiques qui crée le biogaz pouvant servir à la production de chaleur, ou d'électricité. Également appelé méthanisation, ce procédé consiste plus précisément en la digestion anaérobie¹ des matières organiques par des micro-organismes. C'est une réaction biologique qui se produit naturellement dans certains sédiments, marais ou rivières. Elle peut alors être reproduite artificiellement dans des usines de méthanisation.

Le procédé utilisé dans les usines de méthanisation se résume en trois étapes principales : l'hydrolyse + l'acidogénèse, l'acétogénèse et enfin la méthanogénèse.

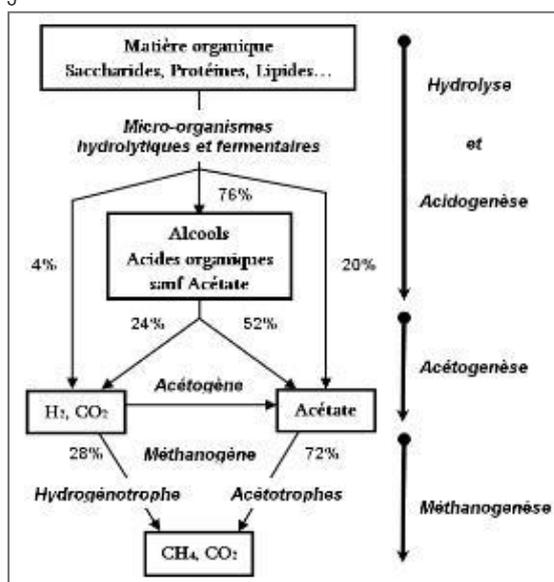


Figure 23 – Principales étapes de la méthanisation

Ce procédé consiste en une succession de dégradations faisant intervenir pour chaque étape des micro-organismes bien spécifiques. Contrairement au compostage, ce procédé est totalement dépourvu d'apport en oxygène.

On obtient en sortie un biogaz généralement composé à 60% de CH₄, 30% de CO₂ et 10% d'un ensemble de gaz (H₂O, N₂, H₂, O₂ et H₂S) et des résidus solides qui servent ensuite comme fertilisants.

Ce procédé présente de nombreux avantages et notamment :

- La réduction des odeurs et de la charge pathogène des matières traitées ;
- La réduction des émissions de gaz à effet de serre par les fermes ;
- L'utilisation de sous-produits de l'industrie alimentaire de source non agricole ;
- L'amélioration de la valeur fertilisante du fumier ;
- La production de chaleur et d'électricité par cogénération ;

¹ Anaérobie : Milieu dépourvu d'oxygène.

- La réutilisation de la fraction fermentescible des déchets ménagers.

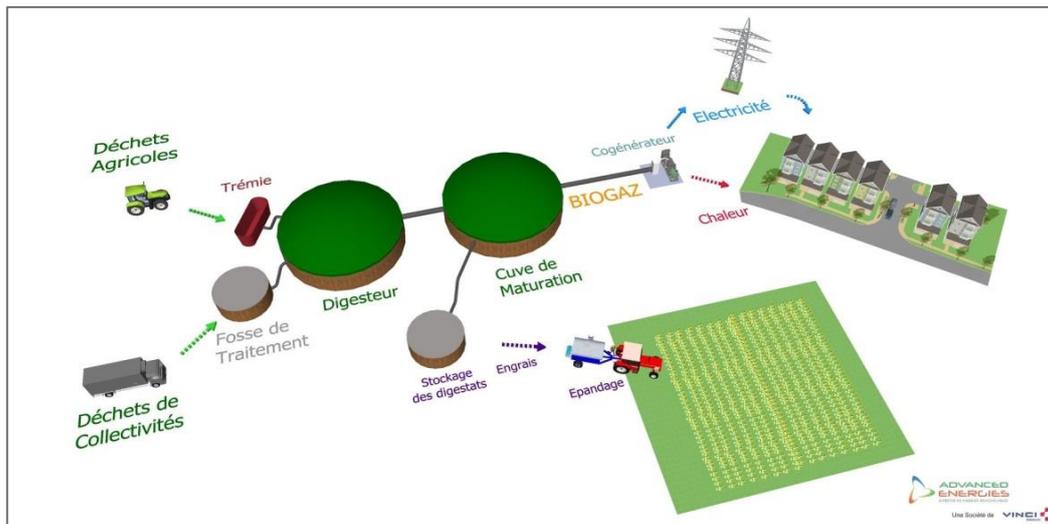


Figure 24 – Schéma de principe de la filière méthanisation. Source : Advanced Energies Groupe Vinci

Ce procédé présente l'avantage d'être adaptable à des déchets liquides (effluents d'élevage, boues de STEP) ainsi qu'à des déchets solides (déchets alimentaires, emballages, textiles, déchets verts, déjections animales, etc.).

Enfin, l'injection du bio-méthane dans les réseaux de gaz naturel est désormais autorisée par les pouvoirs publics. Lorsque le biogaz est injecté dans le réseau, il se mélange au gaz naturel, il n'est alors plus possible de les distinguer. Il est donc nécessaire d'assurer sa traçabilité.

Pour cela, des certificats de garantie d'origine (GO) ont été mis en place. Chaque unité (MWh_{PCS}) de biogaz injecté donne lieu à l'émission d'une garantie d'origine identifiée, grâce notamment à son lieu de production et aux déchets utilisés. Lorsque le consommateur souhaite consommer du biogaz, l'achat de GO lui assure que le gaz qu'il consomme correspond à une quantité de biogaz effectivement produite. Ces garanties d'origine sont disponibles sur un marché d'échange.

7.6.2 Contraintes

Cette voie de verdissement du réseau est prometteuse mais freinée de plusieurs façons :

- Encore trop méconnue du grand public ;
- Le contrôle et la gestion des réactions chimiques requises sont contraignants ;
- Il est primordial d'effectuer une très bonne maintenance des équipements ;
- Répartition inhomogène sur l'année des apports organiques ;
- Le pouvoir méthanogène des déchets varie énormément, des mélanges sont nécessaires pour assurer un rendement suffisant.

Les installations de méthanisation sont classées pour l'environnement sous la rubrique ICPE n°2781 et soumises, en fonction de leur capacité de traitement et du type de déchets traités, à autorisation, à enregistrement ou à déclaration :

2781-1. Méthanisation de matière végétale brute, effluents d'élevage, matières stercoraires, lactosérum et déchets végétaux d'industries agroalimentaires :	
a) La quantité de matières traitées étant supérieure ou égale à 60 t/j	Autorisation
b) La quantité de matières traitées étant supérieure ou égale à 30 t/j et inférieure à 60 t/j	Enregistrement
c) La quantité de matières traitées étant inférieure à 30 t/j	Déclaration
2781-2. Méthanisation d'autres déchets non dangereux	Autorisation

Figure 25 – Rubriques ICPE des installations de méthanisation

7.6.3 Ressource

En France, la filière biogaz est encore faible mais tend à se consolider en raison de la forte augmentation prévue des besoins en raison notamment des objectifs définis dans « le plan national d'action en faveur des énergies renouvelables ». Ce plan prévoit de multiplier par 7 la production de chaleur et par 5 la production d'électricité issue de la méthanisation. Les producteurs de biogaz étaient au nombre de 592, dont 44 le valorisant sous forme de biométhane injecté sur le réseau de gaz naturel.

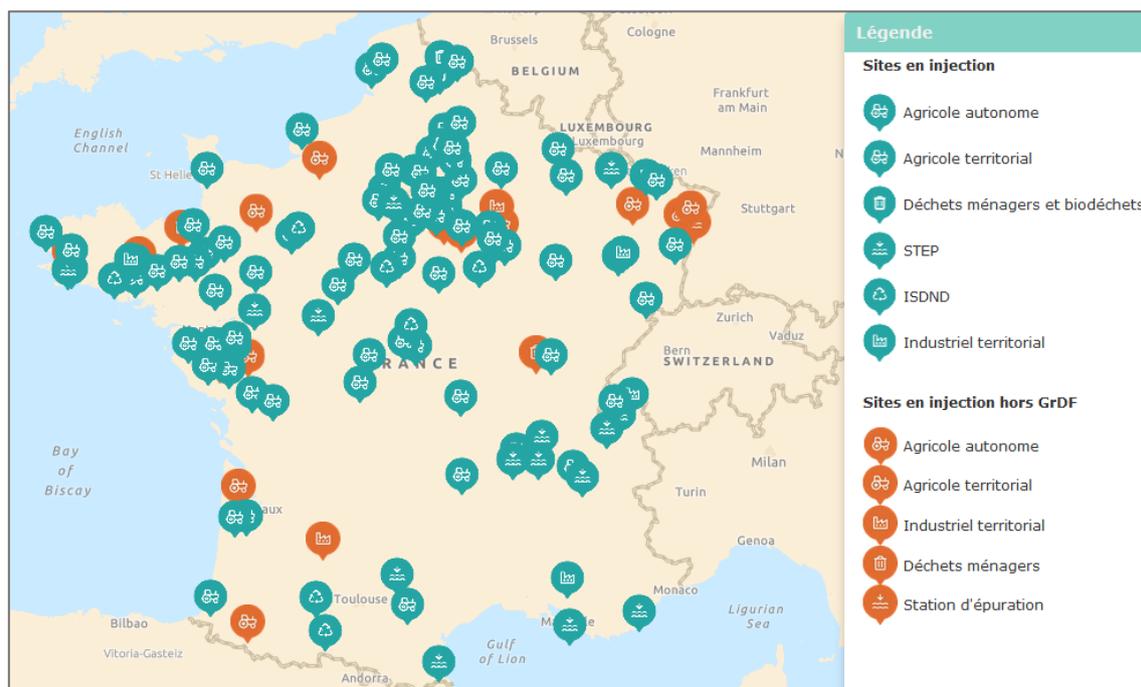


Figure 26 – Les unités d'injection de gaz vert dans le réseau GRDF. Source : GRDF (2020)

Plusieurs sources de déchets fermentescibles peuvent être utilisées :

- Les déchets agricoles, qui présentent une ressource importante
- Les déchets alimentaires/agro-alimentaires ;

- Les déchets ménagers et biodéchets, qui nécessitent la mise en place de filiales de collecte dédiées, ce qui n'est aujourd'hui pas le cas sur le territoire couvert ;
- Les déchets verts collectés par l'intercommunalité
- Les boues de STEP. A titre d'exemple, il existe un traitement des boues par le SIAAP dans l'usine de Seine Aval à Achères, Maisons-Laffitte et Saint-Germain-en-Laye et récupération du biogaz dû à la digestion des boues (170 000 m³/j). Ce biogaz couvre déjà 60 % des besoins énergétiques de l'usine.

Pour l'alimentation d'un réseau de chaleur, cette possibilité ne peut être, en l'état actuel de la filière, qu'une solution d'appoint ponctuel en raison du surcoût entraîné par la valorisation de cette énergie.

8. EVOLUTIONS ET DEVELOPPEMENTS ENVISAGES DU RESEAU

8.1 Situation de référence

La situation de référence est la situation 2021 décrite dans le paragraphe 5 Audit énergétique.

8.2 Evolution et développement du réseau envisagés

8.2.1 Méthodologie pour la prospection de potentiels abonnés

Pour recenser la totalité des besoins de chaleur sur le périmètre de la Ville de Limeil-Brévannes et ainsi identifier de potentiels nouveaux abonnés, la méthodologie suivante a été appliquée :

- Prise de contact avec les bailleurs sociaux présents sur le périmètre. Ont été contactés :
 - Batigère en Ile-de-France ;
- Prise de contact avec les services patrimoine et urbanisme des entités publiques : Ville, agglomération, Département et Région ;
- Prise de contact avec l'exploitant du réseau existant : SCLB – ENGIE ;
- Recensement et filtre des sites « compatibles » Réseau de Chaleur ;

Pour être compatible avec un réseau, la production de chaleur pour le chauffage doit être collective. De plus, les besoins énergétiques du bâtiment ne doivent pas être trop faibles pour que les investissements soient justifiés.

- Prospection cartographique complémentaire ;
- Traitement et consolidation de données de consommation disponibles et/ou estimations.

8.2.2 Projets d'aménagement et d'urbanisation

Trois projets d'aménagement sont en cours sur la Ville de Limeil-Brévannes :

- La création de la ZAC Ballastière Nord par GPSEA à proximité immédiate de la chaufferie centrale du réseau (livraisons 2024-2025), qui regroupe :
 - Des bureaux ;
 - Des hangars de stockage.

Une étude de raccordement au réseau a été réalisée par SCLB en 2019. En raison du faible besoin en chaleur de cette typologie de bâtiments (bureaux neufs, hangars non chauffés), l'étude concluait à la faisabilité de raccorder uniquement les 3 points de livraison les plus proches du réseau, soit environ 20 000 m² de bureaux.

- Le projet de création d'une crèche départementale de 900 m² Avenue du 8 mai 1945 (date de livraison inconnue).
- Le projet de création de 230 logements par la Ville (livraisons 2024) :
 - 2 Rue Léon Schwarzenberg : 45 logements ;
 - 6-8 Rue Albert Jacquard : 40 logements ;
 - Angle Avenue de Verdun / Avenue de la Division Leclerc : 100 logements ;
 - Angle Avenue de Verdun / Avenue du Mesly : 45 logements.

8.2.3 Présentation des prospects

Ainsi, 67 sites ont été identifiés raccordables à un réseau de chaleur sur la Ville de Limeil-Brévannes.

N°	Nom du site	Type d'activité	Maître d'Ouvrages	Nature
1	Valentin	Tertiaire neuf	Valentin	Autre
2	2D et 2E	Tertiaire neuf		Autre
3	2B	Tertiaire neuf		Autre
4	Complexe Didier Pironi	Gymnase	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
5	Stade Paul Vaillant-Couturier	Gymnase	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
6	Groupe scolaire Anatole France	Ecole	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
7	Gymnase Lucien Leroy	Gymnase	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
8	Ecole elementaire Piard	Ecole	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
9	Ecole maternelle Pierre Curie	Ecole	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
10	Centre de loisirs elementaire	Ecole	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
11	Gymnase Guimier	Gymnase	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
12	CCAS + Creche Farfelune	Tertiaire	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
13	Salle municipale "La Boite a Clous"	Tertiaire	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
14	Ecole Picasso	Ecole	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
15	Gymnase Bude	Gymnase	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
16	Creche des Tilleuls	Ecole	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
17	Villa de Seze (Police municipale)	Tertiaire	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
18	Centre socioculturel Christian Marin	Tertiaire	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
19	CTM	Tertiaire	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
20	Hopital Emile Roux	Santé	AP-HP	Autre
21	Residences St Martin	Logement BT	Batigere	Bailleur
22	College Daniel Fery	Ecole	Departement Val-de-Marne	Collectivite
23	College Janusz Korczak	Ecole	Departement Val-de-Marne	Collectivite
24	College Blaise Cendars	Ecole	Departement Val-de-Marne	Collectivite

N°	Nom du site	Type d'activité	Maître d'Ouvrages	Nature
25	Residences Rue des Cailles	Logement HT	Seqens	Bailleur
26	Residences Eugene Varlin	Logement HT	RATP Habitat	Bailleur
27	Institut Medico Educatif	Tertiaire	ARISSE	Autre
28	Centre de formation aides-soignantes	Tertiaire	Croix Rouge Française	Autre
29	Cite des Douanes	Logement HT	M1VH	Bailleur
30	Pepiniere-hotel d'entreprises Descartes	Tertiaire	GPSEA	Collectivite
31	OMMIC	Activite neuf	OMMIC	Autre
32	Piscine des Dauphins	Tertiaire	Ville de Limeil-Brevannes	Collectivite
33	Residences Pinede (RATP)	Logement HT	RATP Habitat	Bailleur
34	Residences Boulaie (RATP)	Logement HT	RATP Habitat	Bailleur
35	Residences Boulaie (OPH)	Logement HT	Paris Habitat OPH	Bailleur
36	Residences Chenaie (OPH)	Logement HT	Paris Habitat OPH	Bailleur
37	Residences Val de Marne	Logement HT		Copropriete
38	Residences Tilleuls (OPH)	Logement HT	Paris Habitat OPH	Bailleur
39	Residences Parc du Val de Marne	Logement HT		Copropriete
40	Residences du Lac	Logement HT		Copropriete
41	Residences Sabliere (OPH)	Logement HT	Paris Habitat OPH	Bailleur
42	Residence Sapiniere coll (OPH)	Logement HT	Paris Habitat OPH	Bailleur
43	Les Rives de Boissy	Logement HT		Copropriete
44	Angevines 1	Logement HT		Copropriete
45	Angevines 2	Logement HT		Copropriete
46	Residences des Erables	Logement HT		Copropriete
47	Les Hauts du Lac	Logement HT	In'Li	Bailleur
48	Residences La Hetraie	Logement HT	Paris Habitat OPH	Bailleur
49	Residences les Clos de Boissy	Logement HT		Copropriete
50	PMI Gisele Vatinel	Tertiaire	Departement Val-de-Marne	Collectivite
51	Lgmts rue Leon Schwartzberg	Logement BT		Copropriete
52	Lgmts rue Albert Jacquard	Logement BT		Copropriete
53	Lgmts angle Verdun / Division Leclerc	Logement BT		Copropriete
54	Lgmts angle Verdun / Mesly	Logement BT		Copropriete
55	Residence Beauregard Barbusse	Logement HT	Logial	Bailleur
56	Allee Claude Monnet	Logement HT	Logial	Bailleur
57	Avenue de la Div. Leclerc	Logement HT	Logial	Bailleur
58	15, Rue Leon Schwartzberg	Logement HT		Copropriete
59	Residence du Bois de Brevannes	Logement HT		Copropriete
60	Residence Plein Air	Logement HT		Copropriete
61	Residence Beauregard Pasteur	Logement HT		Copropriete
62	Residence de L'Hermitage	Logement HT		Copropriete
63	Residence Verdun Leclerc	Logement HT		Copropriete
64	Residence de Brevannes	Logement HT		Copropriete
65	Residence du Tertre	Logement HT		Copropriete
66	Residence La Sabliere	Logement HT		Copropriete

N°	Nom du site	Type d'activité	Maître d'Ouvrages	Nature
67	Residence Les Orchidees	Logement HT		Copropriete

Figure 27 – Liste des prospects identifiés raccordables au réseau

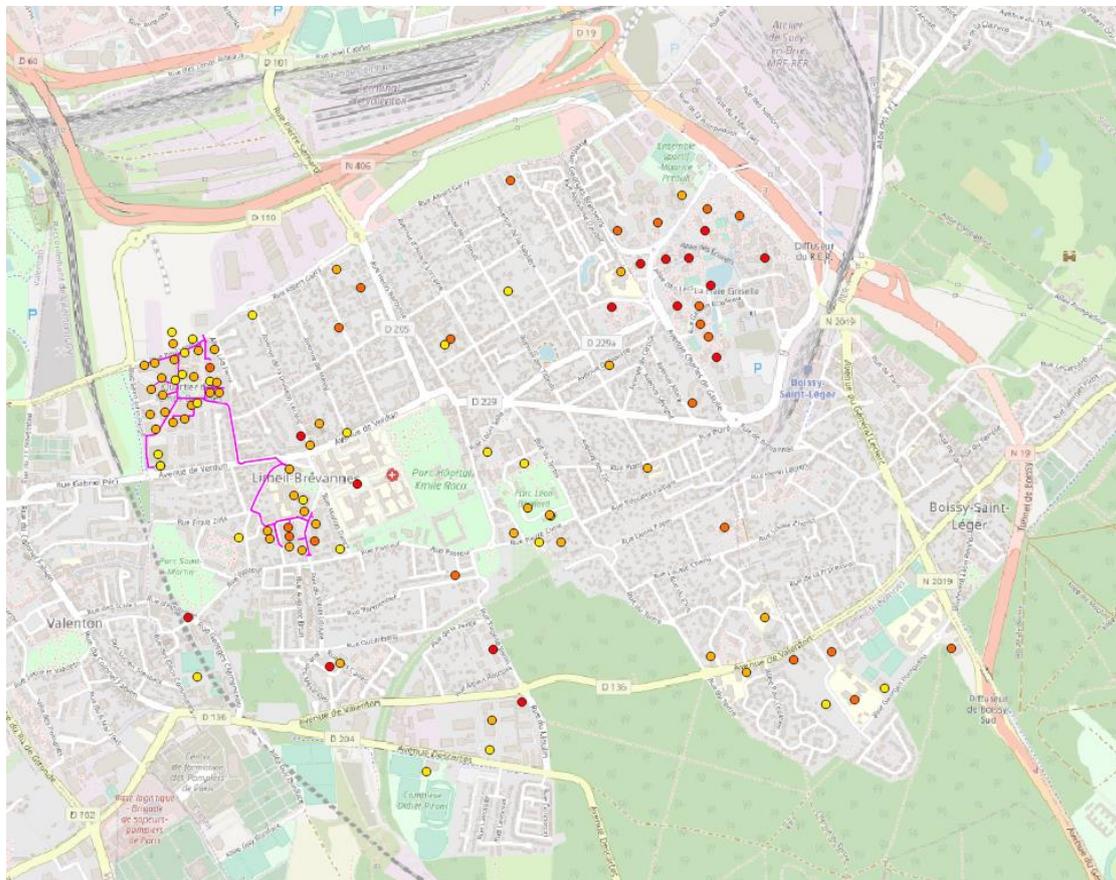


Figure 28 – Localisation des prospects identifiés

La répartition des besoins de chaleur de chauffage et d'ECS en fonction de la typologie des sites est la suivante :

	Chauffage à 2100 DJU (MWh _{utile})	ECS (MWh _{utile})	TOTAL à 2100 DJU (MWh _{utile})
Activite neuf	1 195	0	1 195
Ecole	2 967	23	2 990
Gymnase	1 076	32	1 108
Logement BT	3 994	0	3 994
Logement HT	25 061	4 962	30 023
Santé	6 967	2 981	9 948
Tertiaire	2 271	23	2 294
Tertiaire neuf	447	0	447
TOTAL	43 979	8 020	51 998

Figure 29 – Répartition des besoins de chaleur par typologie de bâtiment

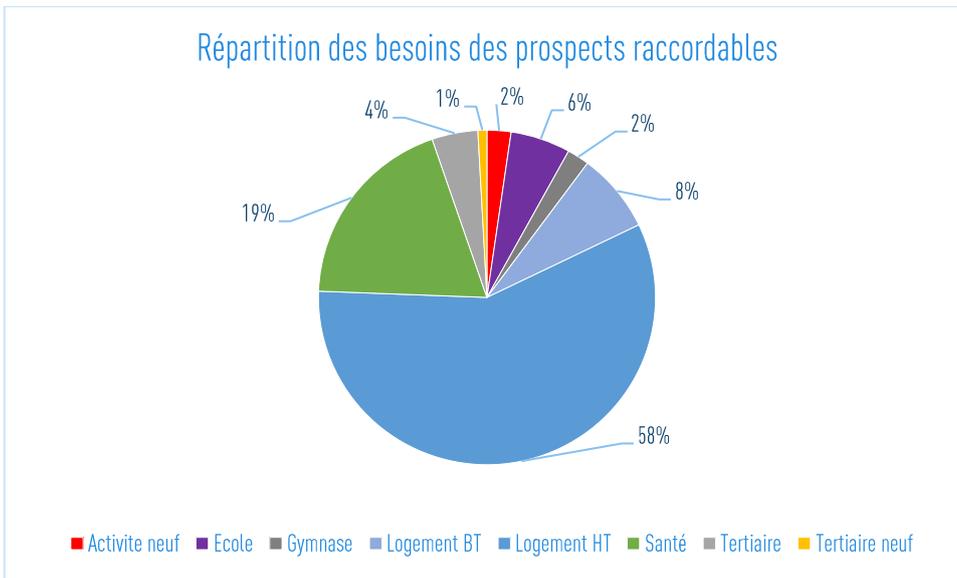


Figure 30 – Répartition des besoins des prospects raccordables par type d'activité

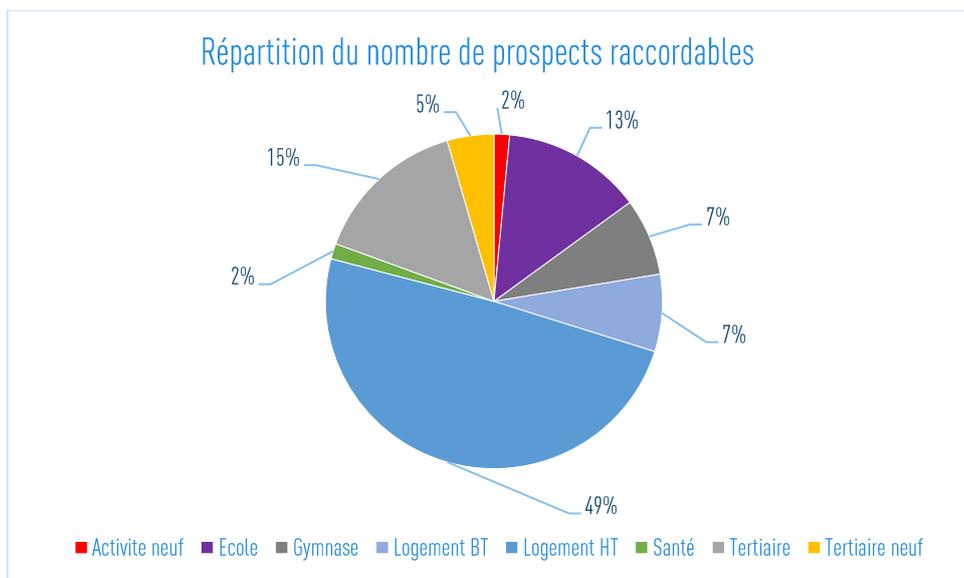


Figure 31 – Répartition du nombre de prospects raccordables par type d'activité

Comme on peut le voir sur les deux graphiques ci-dessus, l'hôpital représente à lui-seul 19 % des besoins énergétiques. Les logements haute-température représentent quant à eux 49 % des prospects mais 58 % des besoins énergétiques.

Ci-dessous la carte de chaleur des besoins recensés ; les zones les plus « rouges » représentent une forte concentration de besoins énergétiques sous forme de chaleur (chauffage et ECS confondus).

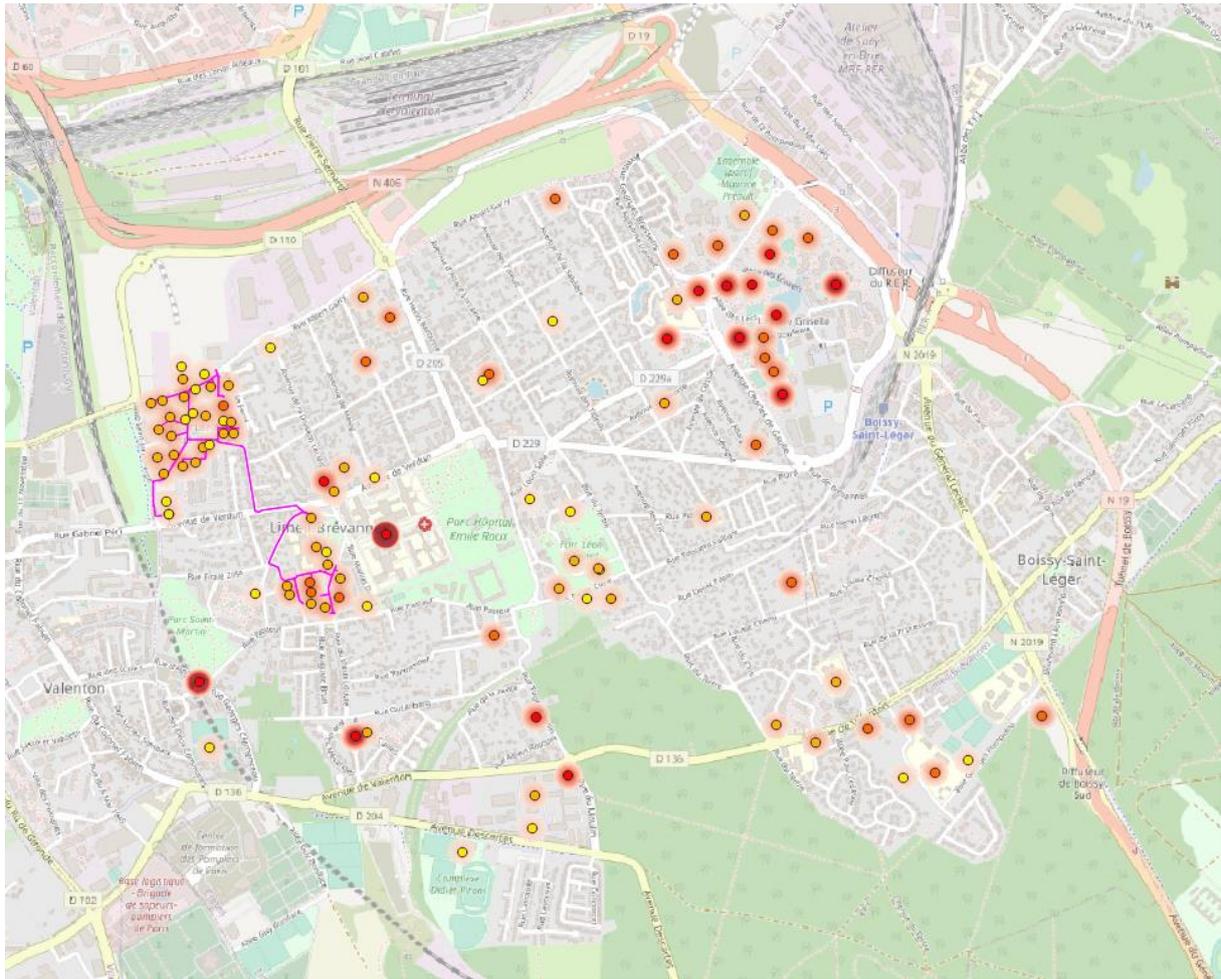


Figure 32 – Carte de chaleur

Ces prospects peuvent être regroupés par zones à raccorder. La carte suivante présente les différentes zones identifiées, le tracé des réseaux à l'intérieur de chaque zone et les prospects isolés et donc exclus de l'étude car trop isolés ou avec trop peu de besoins pour justifier une extension.

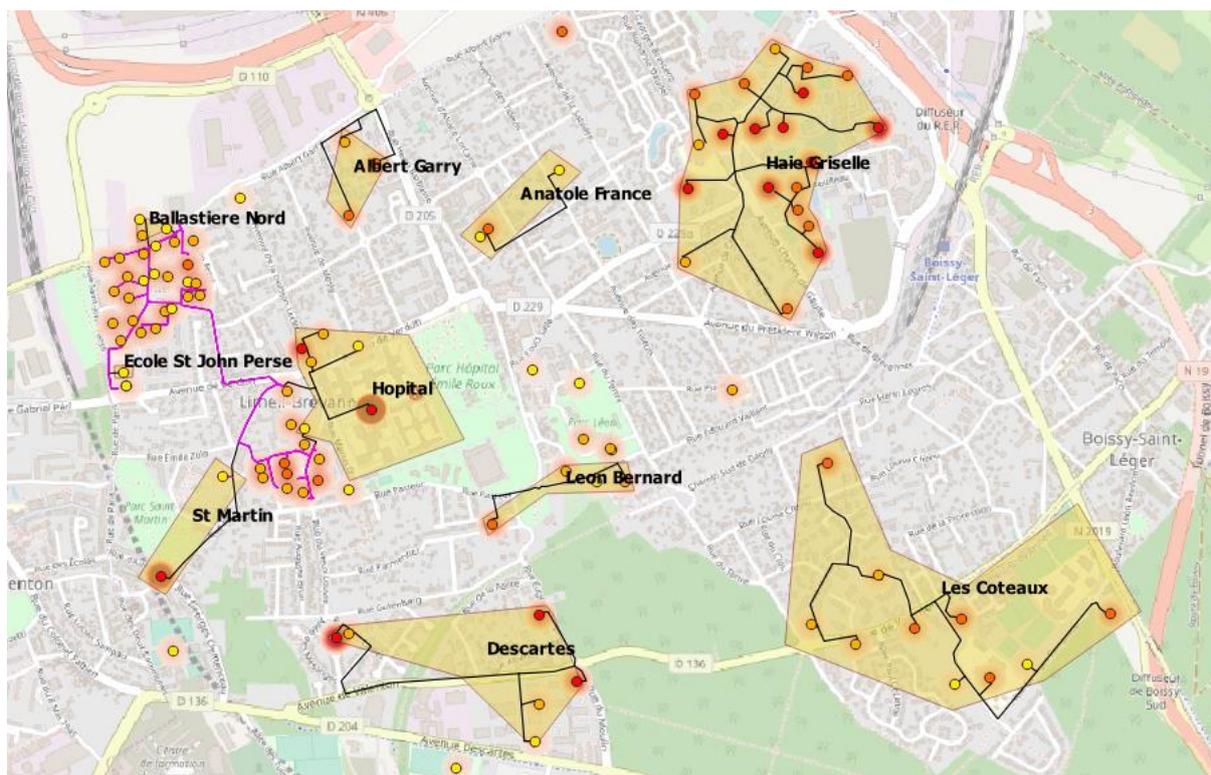


Figure 33 – Carte des zones de besoins

Pour chaque zone, il est étudié la pertinence de son raccordement au réseau de chaleur à partir des données suivantes :

Zone	Nombre de prospects	Besoins (MWhut)	Densité (MWhut/ml)
Ballastière Nord	3	447	3,82
Ecole St John Perse	1	50	1,35
Hôpital Emile Roux	6	11 867	13,50
St Martin	2	2 883	5,62
Descartes	6	4 376	2,95
Albert Garry	3	1 291	1,83
Anatole France	3	827	1,87
Haie Griselle	20	17 544	5,99
Léon Bernard	4	1 306	2,31
Les Coteaux	10	4 476	1,99

Figure 34 – Données des zones de besoins

En particulier, la densité linéique (nombre de MWh consommés par mètre linéaire de tranchée à créer) est l'indicateur privilégié pour mettre en évidence le potentiel de chaque zone. A titre de comparaison et pour rappel, la densité du réseau en 2021 est de 4,6 MWhut/ml. Ce paramètre est à mettre en perspective avec le nombre de prospects. Ils permettent de classer les zones en 4 catégories :

- Fort potentiel :
 - Hôpital Emile Roux
 - St Martin

- Haie Griselle
- Moyen potentiel :
 - Ballastière Nord
 - Descartes
- Faible potentiel :
 - Ecole St John Perse
 - Léon Bernard
- Très faible potentiel :
 - Albert Garry
 - Anatole France
 - Les Coteaux

Trois zones présentant de forts besoins en chaleur ressortent :

- La première à l'Est du quartier Pasteur, avec l'hôpital ;
- La deuxième au Sud-Ouest du quartier Pasteur, avec la chaufferie centrale des résidences du quartier Saint-Martin du bailleur Batigère en Ile-de-France ;
- La troisième à l'extrémité Nord-Est de la Ville, avec les résidences du quartier Haie Griselle (dont la majorité du quartier se situe sur la commune de Boissy-Saint-Léger).

Le raccordement de 3 prospects sur la ZAC Ballastière Nord a déjà été étudié et validé par SCLB et est donc intégré au schéma directeur.

Une partie de la zone Descartes dispose déjà d'un réseau technique au gaz mais qui est en cours de démantèlement. La Ville de Limeil-Brévannes ne souhaite donc pas envisager une extension du réseau public sur cette zone à court ou moyen terme.

La Ville avait envisagé la création de l'école St John Perse à proximité immédiate du réseau mais ce projet est aujourd'hui abandonné.

Les zones Léon Bernard et Les Coteaux présentent une densité trop faible au regard du nombre de prospects et sont trop éloignées du réseau pour envisager leur raccordement.

Les zones Albert Garry et Anatole France présentent une densité très faible au regard du nombre de prospects, mais pourrait être raccordées par la même extension que la zone Haie Griselle qui présente une très forte densité.

Les zones considérées pour la suite de l'étude sont donc :

- Ballastière Nord ;
- Hôpital Emile Roux ;
- St Martin ;
- Albert Garry (avec Haie Griselle) ;
- Anatole France (avec Haie Griselle) ;
- Haie Griselle.

Nous étudierons le raccordement de ces zones dans le cadre de deux scénarios définis ci-après.

9. ANALYSE TECHNIQUE ET ENERGETIQUE DES SCENARIOS

9.1 Définition des scénarios

Deux scénarios de desserte énergétique ont été étudiés pour répondre aux besoins énergétiques des six zones retenues :

- Scénario périmètre restreint : desservant les zones les plus proches du réseau actuel ;
- Scénario périmètre élargi : prolongeant le premier scénario avec une extension jusqu'au quartier Haie Griselle sur la commune de Boissy-Saint-Léger.

Compte-tenu de la surcapacité limitée des outils de production EnR&R existants (biomasse existante), deux solutions de production sont envisagées pour la scénarisation, consistant en une valorisation des outils en place pour le premier scénario ou en l'ajout d'une production EnR&R supplémentaire pour le second.

9.1.1 Hypothèses

Il a été fait comme hypothèse le planning de raccordement effectif suivant :

- Ballastière Nord : 2024 – 2025 (selon livraison) ;
- Hôpital Emile Roux : 2024 ;
- St Martin : 2025 ;
- Albert Garry et Anatole France : 2026 ;
- Haie Griselle : 2027.

Par ailleurs, il a été considéré une diminution de 15 % des besoins énergétiques de tous les prospects entre l'année de raccordement et 2030 à l'exception des programmes neufs, des bâtiments déjà raccordés (écoquartiers) et du quartier St Martin (résidences Batigère en Ile-de-France) qui a été réhabilité récemment.

Les besoins énergétiques des scénarios sont donc constants à partir de 2030.

Température de base	- 7 °C
Température de non chauffe	18 °C
Rigueur climatique standard	2 100 DJU
Surpuissance échangeur sous-stations	20 %
Rendement chaudière	0,9
Passage PCS en PCI	0,9

Figure 35 – Hypothèses de simulations

Un taux de raccordement de 100 % a été pris en compte pour le raccordement des prospects identifiés dont les données étaient confirmées par le maître d'ouvrage (présence chauffage collectif et données de consommation). Lorsque les données n'ont pas

pu être confirmées, notamment sur la présence d'ECS collective, celle-ci a été supposée en production individuelle (donc non assurable par le réseau de chaleur).

9.1.2 Scénario périmètre restreint

Ce scénario considère le raccordement des zones suivantes :

- Ballastière Nord ;
- Hôpital Emile Roux ;
- St Martin.

Ce scénario prévoit 11 raccordements, en plus de la situation de référence, dont les estimations de consommations de chauffage et d'ECS au moment du raccordement sont les suivantes :

N°	Nom du site	Maître d'Ouvrages	Chauffage à 2 100 DJU (MWhut)	ECS (MWhut)	TOTAL à 2 100 DJU (MWhut)
1	Valentin	Valentin	137	-	137
2	2D et 2E		242	-	242
3	2B		68	-	68
13	Salle municipale "La Boite a Clous"	Ville de Limeil-Brevannes	164	-	164
18	Centre socioculturel Christian Marin	Ville de Limeil-Brevannes	28	-	28
20	Hopital Emile Roux	AP-HP	6 967	2 981	9 948
21	Residences St Martin	Batigere	3 364	-	3 364
53	Lgmts angle Verdun / Division Leclerc		273	-	274
54	Lgmts angle Verdun / Mesly		123	-	123
57	Avenue de la Div. Leclerc	Logial	248	-	248
63	Residence Verdun Leclerc		1 110	-	1 110
TOTAL			12 726	2 981	15 707

Figure 36 – Prospects du scénario périmètre restreint

La desserte de ces besoins se fait via :

- Une extension de 117 ml sur la voirie interne de la ZAC Ballastière Nord ;
- Une extension de 879 ml rue Marius Dantz et Avenue de Verdun pour la zone de l'hôpital ;
- Une extension de 536 ml rue d'Aquitaine et rue Pasteur pour la zone St Martin.

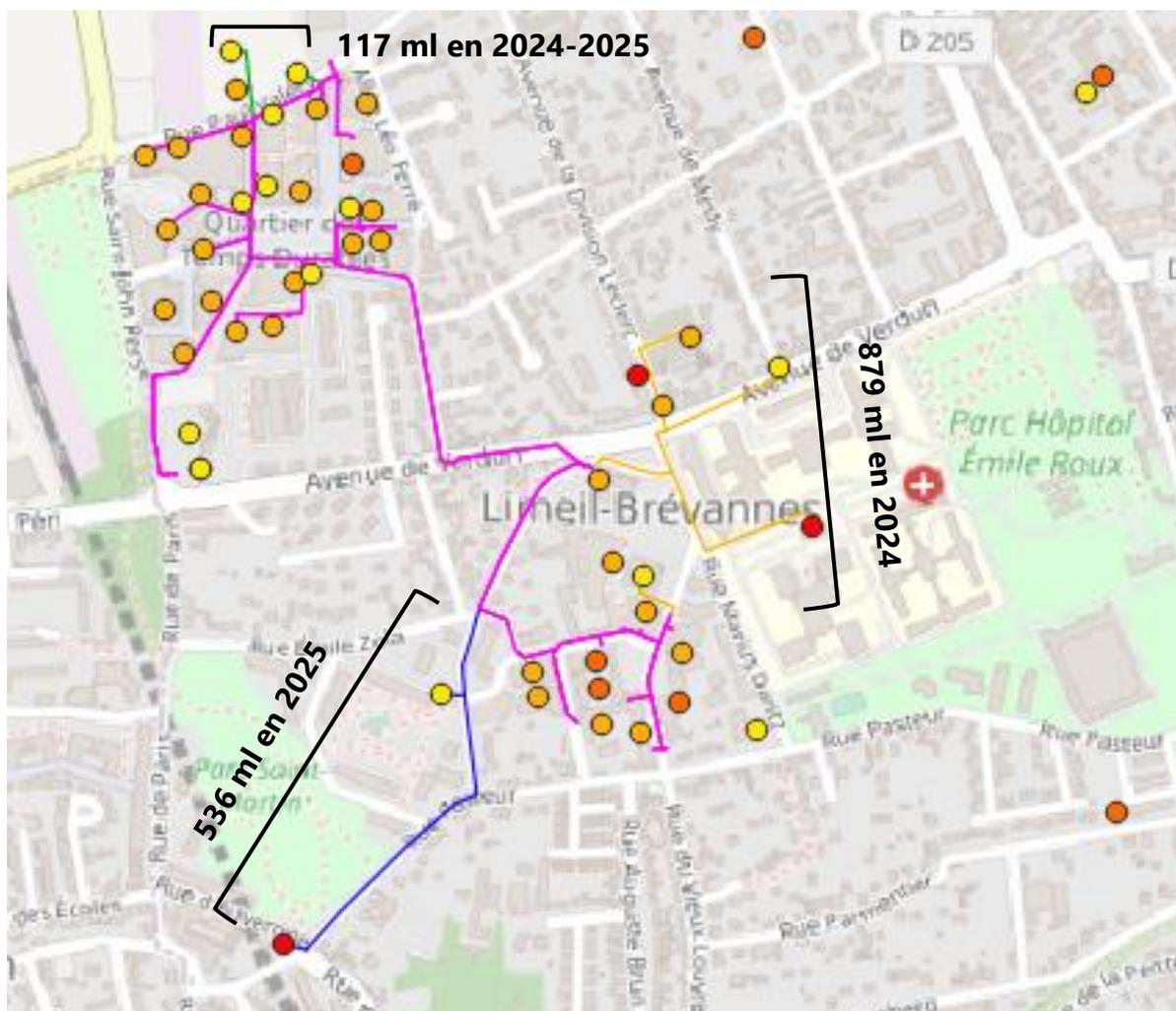


Figure 37 – Cartographie des extensions du scénario périmètre restreint

La contrainte particulière de ce programme d'extensions sur la Ville de Limeil-Brévannes réside dans le tronçon de travaux sur l'avenue de Verdun (route départementale) qui dessert le centre-ville.

L'analyse énergétique de ce scénario donne les résultats suivants :

	Consommation chauffage à 2 100 DJU (MWh _{ut})	Consommation ECS (MWh _{ut})	Consommation totale à 2 100 DJU (MWh _{ut})	Longueur du réseau (ml)	Densité (MWh _{ut} /ml)	Puissance souscrite (kW)
Ballastière Nord	447	-	447	117	3,8	317
Hôpital	8 886	2 981	11 867	879	13,5	6 665
St Martin	3 392	-	3 392	536	6,3	1 874
TOTAL	12 725	2 981	15 706	1 532	10,3	9 001

Figure 38 – Analyse énergétique du scénario périmètre restreint

Ce scénario permet d'ajouter 15,7 GWh de consommation, ce qui revient à plus que doubler la situation de référence (12 498 MWh en 2021).

La longueur totale de réseau nécessaire est de 1 532 ml, ce qui améliore la densité totale du réseau à 6,4 MWh/ml (4,4 MWh/ml pour la situation de référence).

9.1.3 Scénario périmètre élargi

Ce scénario considère le raccordement des zones suivantes :

- Potentiels du scénario périmètre restreint ;
- Albert Garry ;
- Anatole France ;
- Haie Griselle.

Ce scénario prévoit 37 raccordements, en plus de la situation de référence, dont les estimations de consommations de chauffage et d'ECS au moment du raccordement sont les suivantes :

N°	Nom du site	Maître d'Ouvrages	Chauffage à 2 100 DJU (MWhut)	ECS (MWhut)	TOTAL à 2 100 DJU (MWhut)
1	Valentin	Valentin	137	-	137
2	2D et 2E		242	-	242
3	2B		68	-	68
6	Groupe scolaire Anatole France	Ville de Limeil-Brevannes	726	18	743
7	Gymnase Lucien Leroy	Ville de Limeil-Brevannes	132	-	132
13	Salle municipale "La Boite a Clous"	Ville de Limeil-Brevannes	164	-	164
16	Creche des Tilleuls	Ville de Limeil-Brevannes	89	5	94
18	Centre socioculturel Christian Marin	Ville de Limeil-Brevannes	28	-	28
20	Hopital Emile Roux	AP-HP	6 967	2 981	9 948
21	Residences St Martin	Batigere	3 364	-	3 364
22	College Daniel Fery	Departement Val-de-Marne	209	-	209
23	College Blaise Cendars	Departement Val-de-Marne	403	-	403
33	Residences Pinede (RATP)	RATP Habitat	1 242	51-	1 752
34	Residences Boulaie (RATP)	RATP Habitat	584	24-	824
35	Residences Boulaie (OPH)	Paris Habitat OPH	511	21-	721
36	Residences Chenaie (OPH)	Paris Habitat OPH	1 359	558	1917
37	Residences Val de Marne		533	219	752
38	Residences Tilleuls (OPH)	Paris Habitat OPH	1 139	468	1 607
39	Residences Parc du Val de Marne		752	309	1 061
40	Residences du Lac		884	363	1 247
41	Residences Sabliere (OPH)	Paris Habitat OPH	869	357	1 226
42	Residence Sapiniere coll (OPH)	Paris Habitat OPH	526	216	742
43	Les Rives de Boissy		2 016	-	2 016

N°	Nom du site	Maître d'Ouvrages	Chauffage à 2 100 DJU (MWhut)	ECS (MWhut)	TOTAL à 2 100 DJU (MWhut)
44	Angevines 1		453	186	639
45	Angevines 2		453	186	639
46	Residences des Erables		789	324	1 113
47	Les Hauts du Lac	In'Li	380	156	536
48	Residences La Hetraie	Paris Habitat OPH	1 534	-	1 534
49	Residences les Clos de Boissy		584	-	584
53	Lgmts angle Verdun / Division Leclerc		274	-	274
54	Lgmts angle Verdun / Mesly		123	-	123
57	Avenue de la Div. Leclerc	Logial	248	-	248
60	Residence Plein Air		351	-	351
62	Residence L'Hermitage		562	-	562
63	Residence Verdun Leclerc		1 110	-	1 110
64	Residence de Brevannes		606	-	606
66	Residence La Sabliere		358	-	358
TOTAL			30 770	7 305	38 075

Figure 39 – Prospects du scénario périmètre restreint

La desserte de ces besoins se fait via :

- Une extension de 117 ml sur la voirie interne de la ZAC Ballastière Nord ;
- Une extension de 879 ml rue Marius Dantz et Avenue de Verdun pour la zone de l'hôpital ;
- Une extension de 536 ml rue d'Aquitaine et rue Pasteur pour la zone St Martin ;
- Une extension de 2 169 ml rue Albert Garry, rue Henri Barbusse, rue Pierre et Angèle le Hen et avenue des Tilleuls pour les zones Albert Garry et Anatole France ;
- Une extension de 3 455 ml rue Pierre et Angèle le Hen, avenue de la Sablière, avenue Delaporte et avenue Charles de Gaulle pour la zone Haie Griselle.

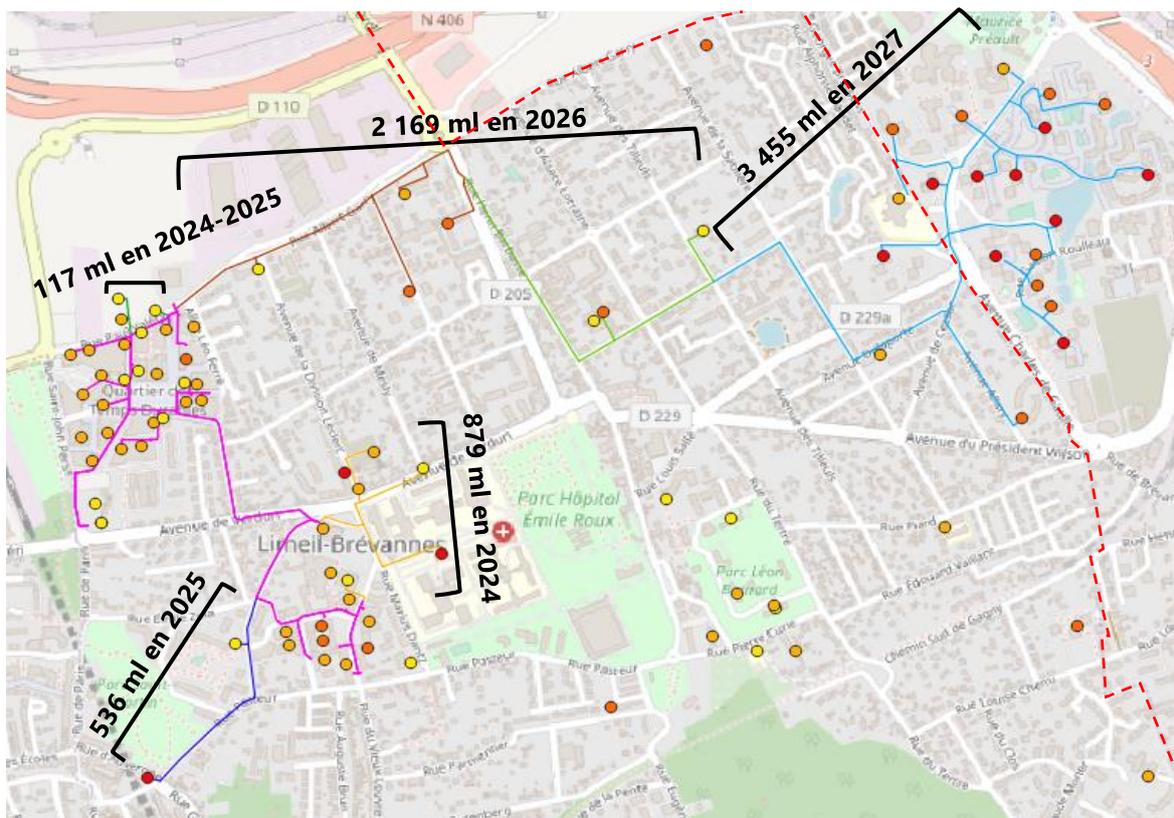


Figure 40 – cartographie des extensions du scénario périmètre élargi

Le passage de l'extension par la rue Albert Garry permet :

- D'éviter de remplacer les réseaux existants entre les quartiers Temps Durables et Pasteur car le diamètre des canalisations est insuffisant pour alimenter à la fois l'hôpital et le quartier Haie Griselle ;
- D'éviter de traverser le centre-ville (avenue de Verdun et D229), pour ne pas paralyser la circulation dans la Ville le temps des travaux ;
- De raccorder les zones Albert Garry et Anatole France sur le tracé de l'extension vers Haie Griselle.

Les contraintes particulières de ce programme d'extensions sur la Ville de Limeil-Brévannes résident dans :

- Le tronçon de travaux sur l'avenue de Verdun (route départementale) qui dessert le centre-ville ;
- Le tronçon de travaux sur la D205, entrée nord de la Ville ;
- Le tronçon de travaux sur l'avenue Charles de Gaulle, entrée nord-est de la Ville.

L'analyse énergétique de ce scénario donne les résultats suivants :

	Consommation chauffage à 2 100 DJU (MWh _{ut})	Consommation ECS (MWh _{ut})	Consommation totale à 2 100 DJU (MWh _{ut})	Longueur du réseau (ml)	Densité (MWh _{ut} /ml)	Puissance souscrite (kW)
Ballastière Nord	447	-	447	117	3,8	317
Hôpital	8 638	2 981	11 619	879	13,2	6 665
St Martin	3 392	-	3 392	536	6,3	1 874
Albert Garry + Anatole France +Haie Griselle	18 043	4 325	22 368	5 624	4,0	12 992
TOTAL	30 520	7 306	37 826	7 156	5,3	21 848

Figure 41 – Analyse énergétique du scénario périmètre élargi

Ce scénario permet d'ajouter 37,8 GWh de consommation, ce qui revient à quadrupler la situation de référence (12 498 MWh en 2021).

La longueur totale de réseau nécessaire est de 7 156 ml, ce qui améliore la densité totale du réseau à 5,3 MWh/ml (4,4 MWh/ml pour la situation de référence).

NB :

- Le programme de travaux de ce scénario est beaucoup plus ambitieux que celui du scénario périmètre restreint ;
- La majorité des prospects et des besoins de la zone Haie Griselle se trouve sur le territoire de la Ville de Boissy-Saint-Léger (limite de commune représenté en trait pontillé rouge sur la carte ci-avant). Sans accord entre les deux Villes pour étendre le réseau de chaleur de la Ville de Limeil-Brévannes sur le territoire de la Ville de Boissy-Saint-Léger, l'extension complète de 5 624 ml n'est pas justifiée.

9.2 Moyens de production pris en compte

Comme décrit ci-avant, la chaufferie bois existante est aujourd'hui utilisée à environ 40% de sa capacité maximale sur l'année, avec un arrêt technique saisonnier de Mai à Septembre inclus par manque de consommations sur le réseau. Il existe donc un fort potentiel de valorisation supplémentaire d'EnR&R sur l'installation existante.

Afin de maintenir un taux d'EnR&R supérieur à 70 % sur le réseau, il est toutefois nécessaire d'ajouter environ :

- 0,7 MW de puissance EnR&R pour le scénario périmètre restreint ;
- 3 MW de puissance EnR&R pour le scénario périmètre élargi.

Les solutions retenues sont :

- Scénario périmètre restreint : l'ajout d'un module d'optimisation de la récupération de chaleur sur la chaudière biomasse existante ;
- Scénario périmètre élargi : l'ajout d'une 2^e chaudière biomasse de 3 MW en chaufferie centrale.

Le module d'optimisation de la récupération de chaleur est composé d'un condenseur de fumées et d'une pompe à chaleur eau/eau placée entre le retour et le départ du réseau, en parallèle du condenseur de fumées.

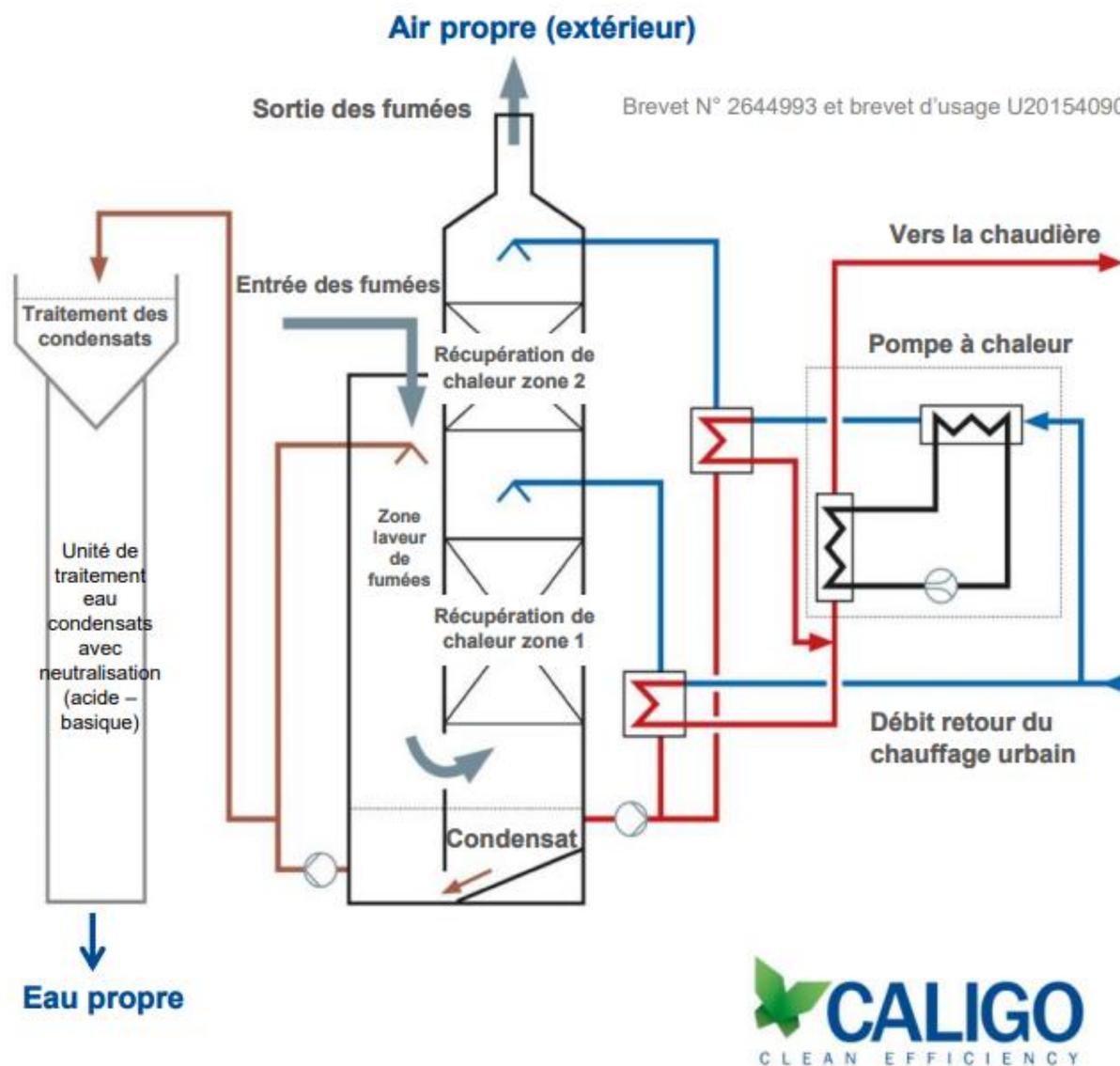


Figure 42 – Schéma de principe du module d'optimisation de récupération de chaleur sur chaudière biomasse. Source : CIBE (2018)

La pompe à chaleur permet d'abaisser les températures retour du réseau afin d'optimiser la récupération de chaleur sur les fumées.

L'appoint/secours est quant à lui réalisé par :

- La chaufferie centrale existante du réseau de Limeil-Brévannes d'une puissance de 6 MW ;
- La chaufferie déportée existante de la mairie d'une puissance de 0,7 MW ;
- La chaufferie de l'hôpital Emile Roux d'une puissance de 7 MW, transformée en chaufferie d'appoint/secours ;
- La chaufferie du quartier St Martin (bailleur Batigère en Ile-de-France) d'une puissance de 4,4 MW, transformée en chaufferie d'appoint/secours ;

- Une chaudière gaz supplémentaire à installer dans la chaufferie centrale, d'une puissance de 4 MW, pour le scénario périmètre élargi.

Note :

L'hôpital a pour projet la rénovation de sa chaufferie gaz avec notamment le remplacement des 2 chaudières de 3,5 MW chacune. Dans le cadre de la mise à disposition de la chaufferie au réseau de chaleur, l'investissement lié au remplacement des chaudières pourra être porté par le délégataire.

Les moyens de production seront donc :

Utilisation	Moyen	Statut	Caractéristiques	
			Scénario périmètre restreint	Scénario périmètre élargi
Base EnR&R	Biomasse	Existant	3 MW	
Base EnR&R	Solaire	Existant	1,2 MW	
Complément EnR&R	Condenseur de fumées + PAC complémentaire sur la chaufferie centrale	A construire	0,7 MW	
Complément EnR&R	Biomasse complémentaire sur la chaufferie centrale	A construire		3 MW
Appoint/Secours	Chaufferie centrale existante	Existant	6 MW	
Appoint/Secours	Chaufferie mairie existante	Existant	0,7 MW	
Complément appoint/secours	Chaufferie de l'hôpital	A mettre à disposition	7 MW	
Complément appoint/secours	Chaufferie de St Martin	A mettre à disposition	4,4 MW	
Complément appoint/secours	Chaudière complémentaire sur la chaufferie centrale	A construire		4 MW

Figure 43 – Synthèse des moyens de production pris en compte

9.3 Analyse énergétique et environnementale

Pour les deux scénarios, il est présenté :

- Un tableau des productions théoriques annuelles de chaque énergie ;
- Une monotone du réseau en fin de déploiement (à partir de 2030), correspondant à la répartition horaire des appels de puissance, sur une année à rigueur climatique standard.

9.3.1 Scénario périmètre restreint

	Consommation sous-station	Production	Solaire	Bois	Condenseur de fumées	PAC	Gaz
Total (MWh)	26 482	27 899	889	16 847	1 193	1 862	7 222
Puissance maximale atteinte			1,2 MW	3 MW	300 kW	500 kW	5,9 MW
Puissance moyenne			100 kW	1,9 MW	100 kW	300 kW	700 kW
Taux de couverture			3,2 %	60,4 %	4,3 %	9,2 %	22,9 %
Contenu CO2 (T éq CO2)			-	-	-	116	1 394

Figure 44 – Bilan de production du scénario périmètre restreint

Ce scénario présente un taux d'EnR&R global d'environ 72 %.

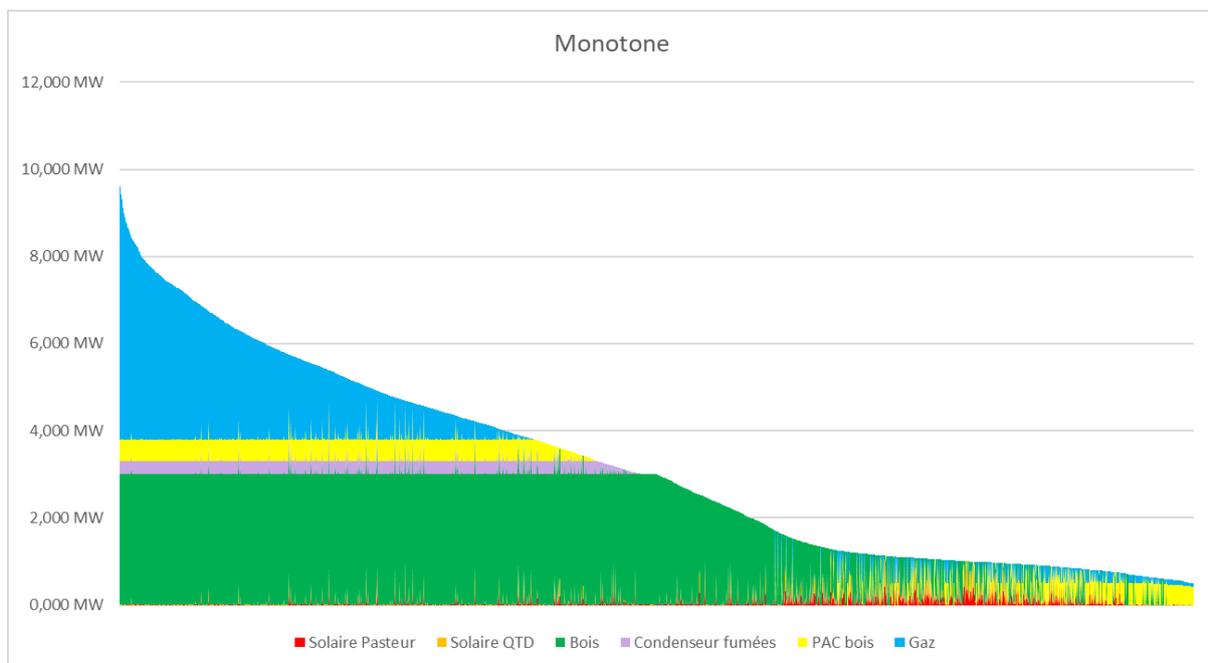


Figure 45 – Monotone simulée du scénario périmètre restreint

On constate sur le graphique ci-dessus que les besoins estivaux ajoutés essentiellement par l'hôpital ne sont pas suffisants pour permettre l'utilisation de la biomasse au-dessus de son minimum technique de fonctionnement. De plus, il peut être envisagé la mise en place d'un 3^e tube entre les quartiers Pasteur et St Martin afin d'alimenter les logements de St Martin (plancher chauffant – régime de température bas – chauffage seul) avec les retours de l'hôpital et de Pasteur. Cela permettrait d'abaisser les températures retours du réseau et donc d'optimiser le fonctionnement du module de récupération de chaleur en chaufferie centrale et d'augmenter le taux d'EnR&R.

Analyse environnementale :

Le contenu CO2 évité annuellement se calcule en faisant la différence entre :

- Les tonnes de CO2 émises avec une production tout au gaz, soit 7 061 T éq CO2 ;

- Les tonnes de CO2 émises avec la production avec le mix énergétique réel, soit 1 510 T éq CO2.

Le nombre de tonnes de CO2 évitées annuellement dans ce scénario est de **5 551 T**.

Pour réaliser la signification de ce nombre, il est intéressant de le comparer à l'émission annuelle d'une voiture diesel en prenant les hypothèses suivantes :

- 0,112 kg CO2éq/km (source : site de l'ADEME : <http://carlabelling.ademe.fr/chiffrescles/r/evolutionTauxCo2>) ;
- 13 968 km/an (source : rapport SOeS « Comptes des Transports en 2018 »).

Cela signifie qu'une voiture moyenne au diesel émet : 1,56 tonnesCO2éq/an.

Le volume de CO2 évité annuellement correspond donc aux émissions annuelles de CO2 de **3 548 voitures**.

9.3.2 Scénario périmètre élargi

	Consommation sous-station	Production	Solaire	Bois	Bois supplémentaire	Gaz
Total (MWh)	45 241	48 522	889	20 978	13 473	13 312
Puissance maximale atteinte			1,2 MW	3 MW	3 MW	11,2 MW
Puissance moyenne			100 kW	2,4 MW	1,5 MW	1,5 MW
Taux de couverture			1,8 %	43,2 %	27,8 %	27,2 %
Contenu CO2 (T éq CO2)			-	-	-	2 858

Figure 46 – Bilan de production du scénario périmètre élargi

Ce scénario présente un taux d'EnR&R global 72,6 %.

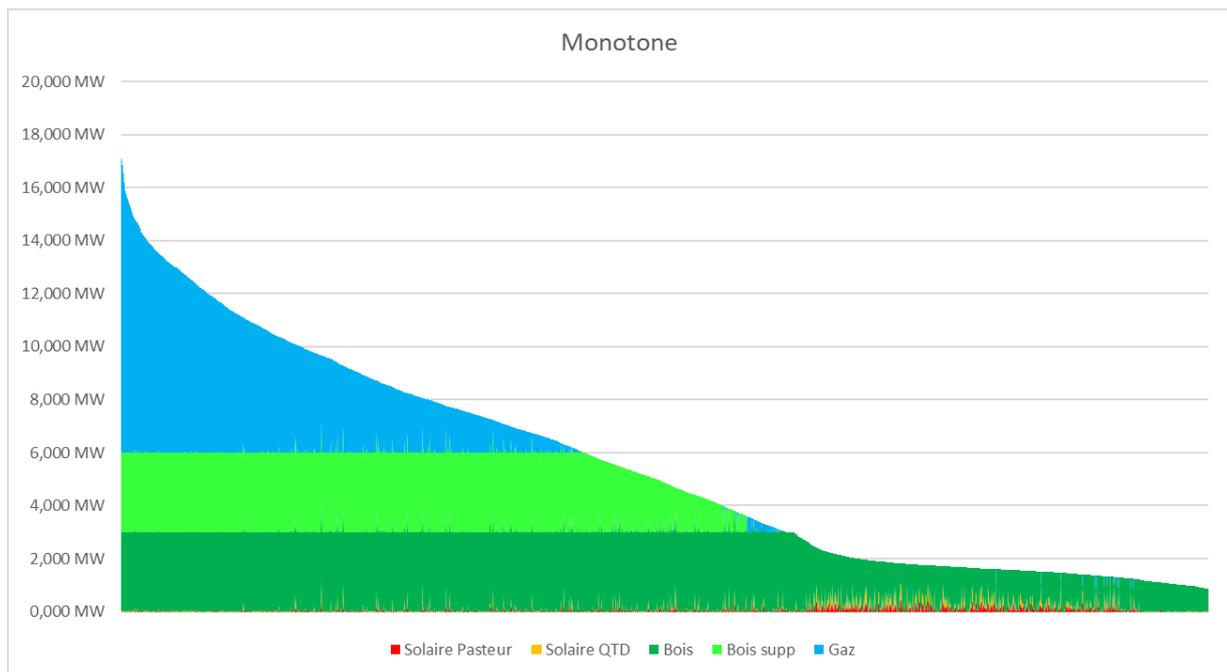


Figure 47 – Monotone simulée du scénario périmètre élargi

Les besoins estivaux ajoutés sur ce scénario permettent de faire fonctionner la biomasse pendant toute l'année. Au vu de la forte puissance gaz appelée et afin de délester les tronçons centraux du réseau, il pourra être pertinent d'utiliser les chaufferies gaz déportées de l'hôpital et de St Martin en îlotage. L'optimisation des températures retour de St Martin par la mise en place d'un 3^e tube est également possible pour ce scénario afin d'améliorer la capacité de la biomasse.

Analyse environnementale :

On applique le même raisonnement que pour le scénario périmètre restreint.

Le contenu CO₂ évité annuellement se calcule en faisant la différence entre :

- Les tonnes de CO₂ émises avec une production tout au gaz, soit 12 280 T éq CO₂ ;
- Les tonnes de CO₂ émises avec la production avec le mix énergétique réel, soit 2 858 T éq CO₂.

Le nombre de tonnes de CO₂ évitées annuellement dans ce scénario est de **9 422 T**.

En reprenant les mêmes hypothèses que pour le scénario périmètre restreint, on trouve que le volume de CO₂ évité annuellement correspond aux émissions annuelles de CO₂ de **6 022 voitures**.

10. ANALYSE ECONOMIQUE

Une analyse économique est conduite pour chacun des scénarios retenus afin d'évaluer :

- Les conséquences envisagées du point de vue du gestionnaire du réseau de chaleur, dans le cadre contextuel existant et à venir ;
- L'impact sur la facture énergétique des abonnés déjà raccordés en fonction des évolutions tarifaires qui accompagneront l'opération.

Pour chaque scénario seront développés les points suivants :

- Les investissements ;
- Les mécanismes de financement mobilisables ;
- Les charges d'exploitation ;
- L'impact tarifaire ;
- L'impact pour les abonnés existants du réseau.

L'analyse économique consiste à décrire les différents postes du compte d'exploitation du gestionnaire du réseau de chaleur afin de déterminer le coût de la chaleur et le mode de facturation aux abonnés. Dans le contexte actuel d'extension du réseau dans le cadre d'un contrat en cours, cette analyse a été menée de manière marginale, c'est-à-dire que seules les recettes et les charges des extensions ont été prises en compte.

Les hypothèses principales prises en compte pour l'élaboration du compte d'exploitation sont les suivantes :

- Durée et révision :
Les deux scénarios ont été simulés pour une durée de 20 ans, jusqu'en Avril 2045, correspondant à la durée restante de la DSP du réseau de chaleur de Limeil-Brévannes. Les nouveaux investissements et subventions sont, dans chaque cas, amortis sur la durée correspondante (moyennant la soulte actuelle contractuelle).
- Objectifs économiques :
Le Taux de Rentabilité Interne (TRI) du projet a été fixé à 5 % après impôts, afin de conserver celui de la DSP actuelle (Avenant 4). En effet, le délégataire, pour accepter un avenant, souhaitera conserver la rentabilité du contrat en cours.
- Application du taux de couverture en énergie renouvelable :
Au vu des critères de simulation technique, chaque scénario présente un taux en énergie renouvelable largement supérieur à 50 %. Cela permettra ainsi de prétendre à un taux de TVA sur l'énergie réduit à 5,5 % pour les termes R1 et R2.
- Structures tarifaires particulières :
Afin de proposer une offre concurrentielle au prix du gaz aux principaux prospects, un prix de la chaleur cible est défini sur la base des conditions d'achat actuelle du gaz communiquées pour :
 - L'Hôpital : 98 €TTC/MWh ;

- St Martin : 125 €TTC/MWh.

Ces prix sont définis sur la base du PEG Nord de Septembre 2021.

Ces structures tarifaires particulières pourraient être contractualisées par le biais d'une réduction du terme R22 en contrepartie de la mise à disposition des chaufferies gaz.

Afin de prendre des hypothèses conservatrices et sans données communiquées sur les conditions actuelles d'achat du gaz, il est considéré un prix cible de 98 €TTC/MWh pour les prospects bailleurs de Haie griselle pour le scénario périmètre élargi.

- Impact pour les abonnés existants :

Deux scénarios de tarification ont été étudiés :

- Le premier conserve la tarification lissée telle que présentée dans le compte d'exploitation de l'Avenant 4. Il correspond à un scénario en iso- tarif pour les abonnés actuels ;
- Le deuxième, en cas de sur- rentabilité du projet (TRI après impôts > 5 %), considère une diminution du prix de la chaleur pour les abonnés existants, via l'ajout d'un terme négatif sur le R22. Celui-ci est simulé comme une charge supplémentaire (ou un manque de recette) sur le compte d'exploitation marginal de l'étude.

10.1 Investissements et subventions

10.1.1 Les investissements

Dans tous les scénarios, il a été considéré que l'ensemble des investissements réseaux (pose des canalisations) et adaptation de chaufferie seront réalisés au fur et à mesure des raccordements.

Pour l'estimation des investissements sur la production, le réseau et les sous-stations, il a été considéré les hypothèses suivantes :

Type de travaux		Prix
Création de réseau enterré en fibre de verre	DN 350	1 870 €/ml
	DN 300	1 730 €/ml
	DN 250	1 580 €/ml
	DN 200	1 440 €/ml
	DN 150	1 330 €/ml
	DN 100	1 150 €/ml
	DN 80	1 010 €/ml
	DN 65 et -	940 €/ml
Transformation d'une chaufferie en sous-station	P > 5 000 kW	60 000 €

	2 000 < P < 5 000 kW	55 000 €
	1 000 < P < 2 000 kW	50 000 €
	500 < P < 1 000 kW	45 000 €
	100 < P < 500 kW	40 000 €
	P < 100 kW	30 000 €
Ajout d'un module de récupération de chaleur sur fumées + PAC en chaufferie centrale		300 000 €/MW _{bois}
Ajout d'une chaudière bois en chaufferie centrale		750 000 €/MW
Rachat/remplacement des chaudières gaz de l'hôpital		16 000 €/MW
Ajout d'une chaudière gaz en chaufferie centrale		37 500 €/MW

Figure 48 – Hypothèses d'investissements

Note :

L'ECS a été supposée en production individuelle lorsque cette donnée n'était pas confirmée par le maître d'ouvrage. Cette hypothèse peut sous-estimer les investissements nécessaires à la transformation de la chaufferie ; toutefois, les ventes associées étant aussi sous-estimées, l'équilibre économique est supposé équivalent.

Enfin, on ajoute aux montants des travaux décrits ci-dessus :

- 10 % de maîtrise d'œuvre, nécessaire pour assurer l'accompagnement et le suivi des travaux ;
- 10 % d'aléas.

	Scénario périmètre restreint (€)	Scénario périmètre élargi (€)
Sous-Total : Productions	1 162 000	2 862 000
Sous-Total : Réseaux	1 689 000	10 352 000
Sous-Total : Sous-stations	450 000	1 550 000
<i>Maîtrise d'œuvre</i>	<i>330 000</i>	<i>1 476 000</i>
Sous-Total	3 631 000	16 241 000
<i>Aléas</i>	<i>363 000</i>	<i>1 624 000</i>
TOTAL GENERAL	3 994 000	17 865 000

Figure 49 – Bilan des investissements

10.1.2 Les mécanismes de financement mobilisables

10.1.2.1 Les droits de raccordements

La DSP actuelle ne prévoit pas de droits de raccordement. Il n'est donc pas considéré de droits de raccordement dans l'étude économique pour les nouveaux abonnés en plus des frais de branchement, conformément à la DSP.

10.1.2.2 Les subventions

Les scénarios précédemment présentés peuvent prétendre à des aides au financement via le Fonds Chaleur, géré par l'ADEME ou via les Certificats d'économies d'énergies (CEE). Ces deux aides ne sont pas cumulables dans le cas d'aides forfaitaires de l'ADEME. Depuis les conclusions du GT Wargon en 2020, le cumul des CEE et Fonds chaleur a été rendu possible pour les cas de figure du Fonds Chaleur « en analyse économique ». Toutefois, en pratique, l'obtention de CEE peut venir diminuer le montant d'aide verser par l'ADEME. En tout état de cause, un nouveau groupe de travail en 2021 a été demandé par la FNCCR pour faire évoluer ces dispositions en faveur du développement des réseaux de chaleur.

Le Fonds Chaleur

Le Fonds Chaleur Renouvelable est l'une des mesures majeures issues du Grenelle de l'Environnement en faveur du développement des énergies renouvelables, pérennisé et renforcé par la loi sur la transition énergétique de 2015.

L'objectif du Fonds Chaleur est de permettre aux installations produisant de la chaleur à partir d'énergies renouvelables d'être économiquement compétitives par rapport aux installations utilisant une énergie conventionnelle.



Deux types d'aides peuvent être alloués (l'ensemble des aides et règles présentées ci-dessous est issu des fiches descriptives Fonds Chaleur 2022 éditées par l'ADEME) :

- **L'aide aux installations de nouveaux moyens de production renouvelables.** Le projet décrit ici peut prétendre à cette aide pour les moyens de production EnR&R à construire pour le scénario périmètre élargi (chaudière biomasse de 3 MW). Le projet devra répondre aux critères d'éligibilité du Fonds Chaleur, notamment en matière de ressources et plan d'approvisionnement, de qualité de l'air et de gestion des cendres. Les moyens de production EnR&R à construire pour le scénario périmètre restreint (module de récupération de chaleur sur la condensation des fumées biomasse + pompe à chaleur) ne semblent pas éligibles au Fonds Chaleur en première approche.

Calcul du niveau d'aide :

Dans notre cas, la chaudière supplémentaire permet de valoriser au mieux 14 000 MWh/an d'EnR&R.

Entre 1 200 et 20 000 MWh d'EnR&R valorisés, le montant de subvention est forfaitaire selon le barème ci-dessous :

Tranche (MWh)		aide collectif/tertiaire en € / MWhENR sortie sur 20ans	aide industrie* en € / MWhENR sortie sur 20ans
0	600	21	12
601	3 000	10	6
3 001	6 000	5	3
6 001	20 000	4	1

*Les installations en **secteur Industrie** ayant une production > 12 000MWh/an d'énergie biomasse sortie chaudière sont accompagné via l'AAP BCIAT, l'aide sera déterminée par analyse économique.

Figure 50 – Barème des subventions d'une production biomasse. Source : ADEME Fonds Chaleur (2022)

- L'aide aux créations, extensions ou densifications de réseaux à condition que le réseau soit alimenté à plus de 65 % par EnR&R après projet. Dans notre cas, le réseau est déjà alimenté à plus de 70 % d'EnR&R, il convient donc de respecter les critères suivants :
 - Le système de production EnR&R existant dispose d'une réserve de capacité lui permettant une production supplémentaire correspondant au moins à 25 % des besoins de l'extension prévue et le taux global d'EnR&R sur l'ensemble du réseau devra, après extension, être supérieur à 70 % ;
 - Extension d'une longueur minimum de 200 ml ou programme de densification supérieur à 200 ml cumulé ;
 - Extension permettant de valoriser au minimum 300 MWh/an d'EnR&R ;
 - Densité thermique du réseau après extension $\geq 1,5$ MWh/ml ;
 - Impact positif pour l'abonné sur le tarif de fourniture de chaleur.

Calcul du niveau d'aide :

Dans notre cas, l'extension du réseau de chaleur permet de valoriser au mieux :

- 9 300 MWh/an d'EnR&R sur l'extension pour le scénario périmètre restreint ;
- 24 700 MWh/an d'EnR&R sur l'extension pour le scénario périmètre élargi.

Entre 300 et 20 000 MWh d'EnR&R valorisés (scénario périmètre restreint), le montant de subvention est forfaitaire en fonction du diamètre du réseau selon le barème ci-dessous :

Type de réseau	Diamètre Nominal du réseau	Aide forfaitaire €/ml*
Vapeur	Tous DN	1330
Basse pression (eau chaude)	DN > 400	1190
	DN > 250 à 400	770
	DN > 125 à 250	610
	DN > 65 à DN125	450
	DN 65 et moins	390

*Nota : l'aide forfaitaire ne pourra en aucun cas dépasser le coût total de l'opération

Figure 51 – Plafond d'assiette des subventions réseaux. Source : ADEME Fonds Chaleur (2022)

Au-dessus de 20 000 MWh d'EnR&R valorisés (scénario périmètre élargi), les subventions sont soumises à une autre méthode de calcul : **l'analyse économique conventionnelle**.

Le montant maximal de l'aide attribuée est déterminé par l'encadrement communautaire des subventions et varie en fonction des projets.

La synthèse des subventions mobilisables par scénario est présentée ci-dessous :

	Scénario périmètre restreint	Scénario périmètre élargi
Investissements (k€)	3 994	17 865
Subventions production EnR&R (k€)	-	1 672
Subventions réseaux (k€)	741	4 376*
Reste à financer (k€)	3 251	11 817
Taux de subvention	19 %	34 %

Figure 52 – Subventions et montants à financer par scénario

*Le montant des subventions réseaux pour le scénario périmètre élargi est estimé sur la base du calcul forfaitaire en première approche.

Certificats d'économie d'énergies

Pour les réseaux de chaleur en France Métropolitaine, les opérations suivantes sont éligibles pour l'obtention de certificats d'économies d'énergies :

- Fiche RES-CH-101 : Valorisation de chaleur de récupération en réseau ;
- Fiche RES-CH-103 : Réhabilitation d'un poste de livraison de chaleur d'un bâtiment tertiaire ;

- Fiche RES-CH-104 : Réhabilitation d'un poste de livraison de chaleur d'un bâtiment résidentiel.

Etant donné la non-possibilité de cumul entre le Fonds Chaleur et les CEE, il a été considéré que les investissements à mettre en œuvre ne pouvaient pas prétendre à l'obtention de CEE.

10.2 Charges d'exploitation

10.2.1 Charges d'énergie P1

Ce poste comprend les charges de combustible fossile (gaz), de biomasse (plaquettes forestières) et charges d'achat d'électricité (pompe à chaleur - scénario périmètre restreint). Ces charges évoluent en fonction du bouquet énergétique de l'année considérée.

Energies fossiles :

Ces charges correspondent aux consommations de gaz utilisées par :

- Les chaudières d'appoint/secours des chaufferies du réseau actuel ;
- Les chaudières appoint/secours des chaufferies mises à disposition par les prospects raccordés.

Les hypothèses utilisées sont les suivantes :

<i>Coût gaz €HT/MWh PCS</i>	90,65
-----------------------------	--------------

Ce prix correspond au coût moyen du gaz acheté en chaufferie en 2021, ramené du PEG moyen 2021 à un PEG de 44 €HT/MWh PCS (valeur de Septembre 2021).

Energie biomasse :

Ces charges correspondent aux consommations de plaquettes forestières par la ou les chaudières biomasse situées dans la chaufferie principale.

Les hypothèses utilisées pour le calcul d'achat de la biomasse sont les suivantes :

<i>Coût bois €HT/MWh ut</i>	29,8
-----------------------------	-------------

Ce prix correspond au coût moyen du bois acheté en chaufferie en 2021.

Energie électrique :

Ces charges correspondent aux consommations d'électricité utilisées par la pompe à chaleur du module de récupération de chaleur sur la condensation des fumées biomasse du scénario périmètre restreint.

Les hypothèses utilisées sont les suivantes :

<i>Coût électricité €HT/MWh élec</i>	173,94
--------------------------------------	---------------

Ce prix correspond au coût moyen de l'électricité achetée en sous-stations en 2021 pour le fonctionnement des épingles électriques sur ballons ECS, ramené du PEG moyen 2021 à un PEG de 44 €/MWh PCS (valeur de Septembre 2021).

Les charges P1 marginales sont alors les suivantes, après complet développement du réseau (2030) :

		Scénario périmètre restreint	Scénario périmètre élargi
Gaz	Charges annuelles	586 379 €	1 199 723 €
	% des charges P1	69 %	63 %
	Taux de couverture sur l'extension	39 %	33 %
Biomasse	Charges annuelles	185 174 €	709 784 €
	% des charges P1	22 %	37 %
	Taux de couverture sur l'extension	49 %	67 %
Electricité	Charges annuelles	80 950 €	
	% des charges P1	9 %	
	Taux de couverture sur l'extension	12 %	
TOTAL	Charges annuelles	852 503 €	1 909 507 €

Figure 53 – Synthèse des charges P1

10.2.2 Charges d'exploitation et administratives P2

Pour les charges d'exploitation, les hypothèses prises en compte se basent sur le compte d'exploitation de la DSP actuelle.

Les charges d'exploitation comprennent :

- **Les consommations d'électricité** consommées par les **chaufferies** (auxiliaires de production) et les pompes pour la distribution réseau ;
- **Les charges de personnel et d'exploitation** :
Elles comprennent les salaires, les charges sociales, les frais de véhicule et d'équipement pour chaque employé, l'outillage ;
- **Les achats et sous-traitances diverses** (contrôles annuels des baies d'analyse, des compteurs d'énergie, etc.) ;
- **Les frais de Siège/structure** (gestion de la filiale SCLB par la société mère ENGIE) ;
- **Les redevances** :
 - Redevance d'occupation du domaine public, calculée de la même manière qu'actuellement (formule a appliquée fonction du nombre de mètre linéaire du réseau) ;
- **Les assurances et la cotisation économique territoriale.**

Pour les deux scénarios, les charges P2 marginales sont estimées à 27 €/MWh produit pour l'extension.

	Scénario périmètre restreint	Scénario périmètre élargi
P2 - Charges d'exploitation (moyenne à partir de 2030)	407 k€/an	990 k€/ an

Figure 54 – Synthèse des charges P2

10.2.3 Charges de gros entretien et renouvellement P3 (GER)

Les charges de gros entretien et de renouvellement (dites charges P3 GER), correspondant aux provisions à réaliser pour les opérations de maintenance lourde, permettent de :

- Faire face aux imprévus de l'exploitation courante (panne, fuite, etc.) ;
- Renouveler le matériel en fin de vie.

Ce renouvellement concerne tous les éléments constitutifs d'un réseau de chaleur :

- La chaufferie biomasse ;
- Les chaufferies appoint/secours ;
- Les sous-stations ;
- Les réseaux.

Le tableau suivant présente les charges P3 GER annuelles moyennes pour chacun des deux scénarios :

	Scénario périmètre restreint	Scénario périmètre élargi
P3 - Charges GER (moyenne à partir de 2030)	40 k€/an	120 k€/ an

Figure 55 – Synthèse des charges P3

Les charges P3 sont plus élevées pour le scénario périmètre élargi qui est plus grand, avec donc plus d'installations réseaux et sous-stations à entretenir.

10.2.4 Synthèse des charges

Le tableau suivant présente un comparatif des charges annuelles P1/P2/P3 moyennes (à partir de 2030).

	Scénario périmètre restreint	Scénario périmètre élargi
Charges annuelles P1 (k€/an) moyenne à partir de 2030	853	1 910
Charges annuelles P2 (k€/an) moyenne à partir de 2030	407	990
Charges annuelles P3 (k€/an) moyenne à partir de 2030	40	120

Figure 56 – Synthèse des charges annuelles

10.3 Résultats de l'analyse économique – Etude de sensibilité économique

Sur la base des données économiques établies dans les paragraphes précédents, une étude de sensibilité du TRI (taux de rentabilité interne) a été menée.

En effet, les TRI obtenus suite à l'établissement du compte d'exploitation prévisionnel n'atteignent pas la cible fixée (5 % après impôts, soit le TRI de la DSP actuelle – Avenant 4) avec les hypothèses considérées et détaillées précédemment.

Note :

Le réseau de chaleur de la Ville de Limeil-Brévannes est concerné par l'étude nationale de l'ADEME pour la redynamisation de 16 réseaux de chaleur, en particulier en raison de son prix de la chaleur élevé. Cette étude a pour but d'identifier pour chaque réseau concerné les leviers à mettre en place par les différents acteurs pour permettre leur développement (extensions, taux d'EnR&R, etc.) et l'amélioration des conditions de livraison et de vente de chaleur à leurs abonnés. Les conclusions de l'étude nationale sont attendues pour le 1^{er} trimestre 2023.

Ce contexte de volonté de redynamisation du réseau par l'ADEME, couplé à la réalisation opportune d'un schéma directeur avec pour ambition d'étendre le réseau, permet d'envisager la mise en place de subventions exceptionnelles.

Des études de sensibilité ont donc été menées afin de mettre en évidence la sensibilité du TRI au taux de subventions pour déterminer, pour chaque scénario :

- Le taux de subventions nécessaire pour atteindre le TRI cible ;
- La capacité de diminution du prix de la chaleur pour les abonnés existants en cas de subventions exceptionnelles, en conservant le TRI cible.

Les résultats sont présentés dans les graphiques ci-dessous :

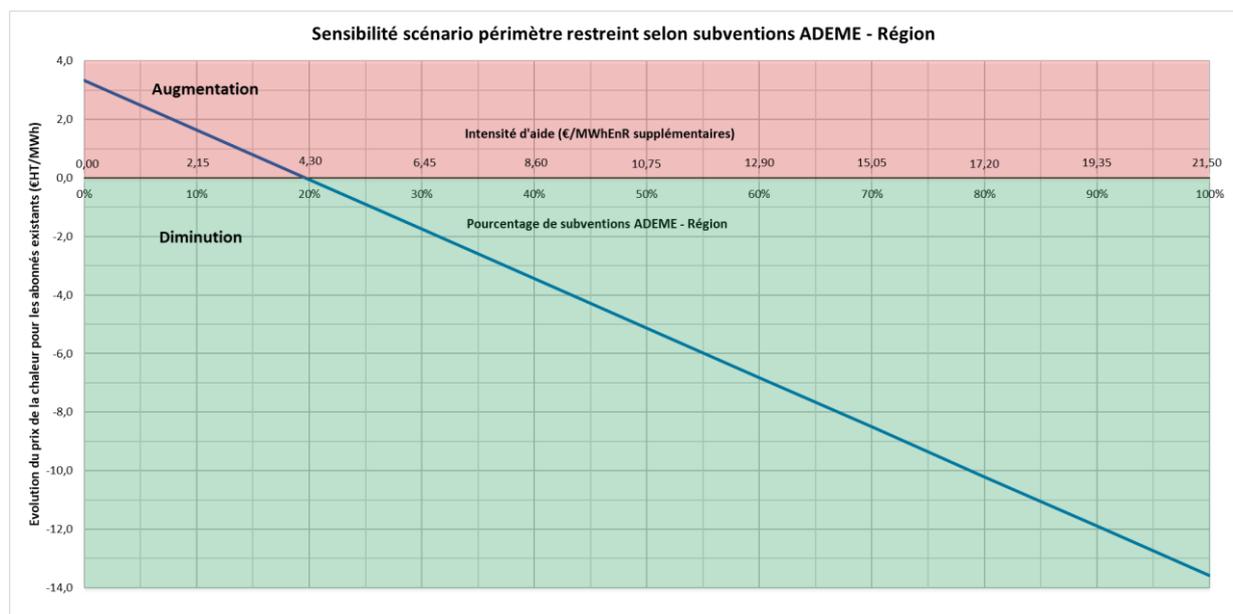


Figure 57 – Sensibilité du scénario périmètre restreint

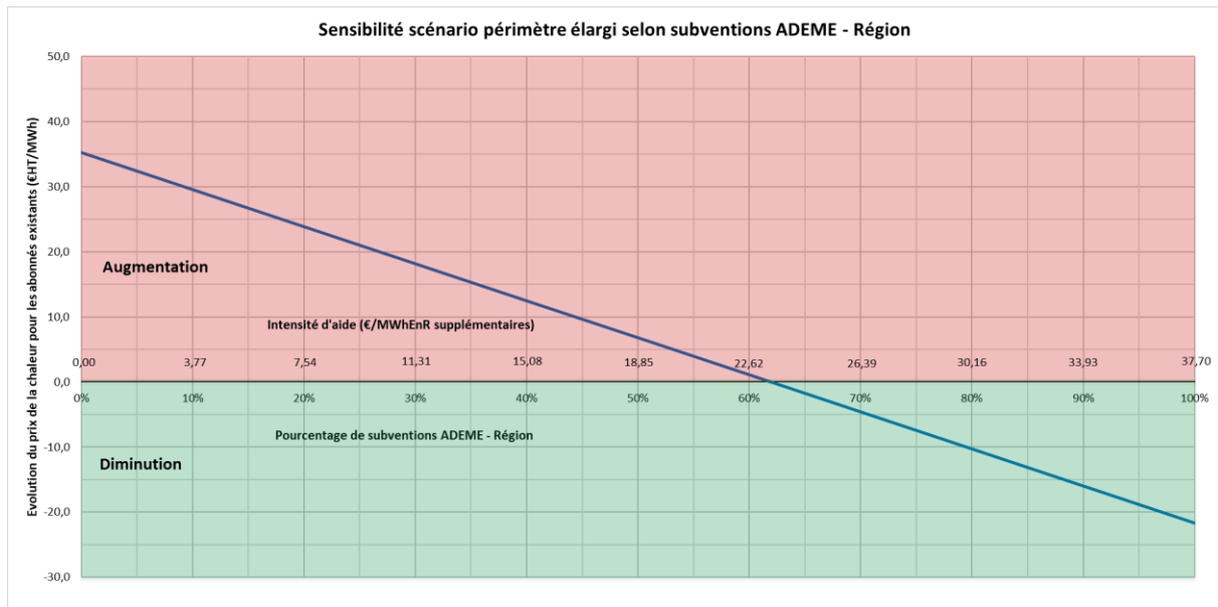


Figure 58 – Sensibilité du scénario périmètre élargi

Sur ces graphiques, la droite en bleu représente l'évolution du prix de la chaleur pour les abonnés actuels du réseau en fonction des subventions perçues, en conservant un TRI fixe de 5 % pour l'extension.

l'évolution du prix de la chaleur pour les abonnés actuels du réseau (par rapport au prix de la chaleur moyen de 2021) est représentée sur l'axe des ordonnées (en €HT/MWh) et les subventions perçues sont représentées sur l'axe des abscisses (en pourcentage de l'investissement total et en intensité d'aide en €HT/MWh EnR&R supplémentaires sur 20 ans).

Pour rappel, le prix de la chaleur moyen en 2021 est de **128,1 €HT/MWh**.

La zone verte correspond à une possibilité de diminuer le prix de la chaleur pour les abonnés existants : les subventions allouées permettent d'avoir un TRI supérieur au TRI cible de 5 %. En se fixant un TRI de 5 % pour l'extension, la sur-rentabilité du projet permet de compenser le manque à gagner lié à la diminution volontaire du prix de la chaleur pour les abonnés existants.

La zone rouge correspond à la nécessité d'augmenter le prix de la chaleur pour les abonnés existants afin d'atteindre le TRI cible de 5 %.

Le croisement de la droite bleue et de l'axe des abscisses indique le taux de subventions nécessaire pour atteindre le TRI cible sans modifier le prix de la chaleur des abonnés existants.

Ainsi, le taux de subventions nécessaires pour atteindre le TRI cible pour chaque scénario, au prix de la chaleur 2021, est de :

- Scénario périmètre restreint : 20 % de l'investissement total (intensité d'aide d'environ 4,3 €/MWh EnR&R supplémentaires sur 20 ans), ce qui représente 787 k€ soit 46 k€ de plus que l'aide forfaitaire estimée ;
- Scénario périmètre élargi : 62 % de l'investissement total (intensité d'aide d'environ 23,4 €/MWh EnR&R supplémentaires sur 20 ans), ce qui représente 11 076 k€ soit 5 028 k€ de plus que l'aide estimée (aide forfaitaire pour la production biomasse + réseaux).

En cas de subvention exceptionnelle supplémentaire, il est possible de diminuer le prix de la chaleur pour les abonnés existants de :

- Plus de 5 €/MWh pour un taux de subvention de 50 % (intensité d'aide d'environ 10,75 €/MWh EnR&R supplémentaires sur 20 ans), ce qui représente 1 997 k€, soit 1 210 k€ de plus que l'aide nécessaire pour atteindre le TRI cible, pour le scénario périmètre restreint ;

- Plus de 10 €/MWh pour un taux de subvention de 80 % (intensité d'aide d'environ 30,16 €/MWh EnR&R supplémentaires sur 20 ans), ce qui représente 14 292 k€, soit 3 216 k€ de plus que l'aide nécessaire pour atteindre le TRI cible, pour le scénario périmètre élargi.

Un autre levier reste bien entendu la négociation d'une rentabilité cible légèrement moindre que celle de la DSP, ainsi qu'une optimisation éventuelle des postes de charges en concertation avec le Délégitaire.

11. EVOLUTION ET INTEGRATION CONTRACTUELLE, POLITIQUE ET JURIDIQUE

Les évolutions substantielles imaginées sont intégrables dans le cadre contractuel existant dans la mesure où :

- Le périmètre de la DSP inclut la zone de l'hôpital et de St Martin ;
- Un des objectifs principaux de la DSP réside dans le développement du réseau ;
- Le contrat étant récent, 20 années d'amortissement sont possibles pour les nouveaux investissements.

En revanche, les zones Albert Garry, Anatole France et Haie Griselle ne sont pas incluses dans le périmètre actuel de la DSP. De plus, la majorité des prospects identifiés de la zone Haie Griselle sont situés sur le territoire de la commune de Boissy-Saint-Léger. Des discussions seraient donc nécessaires avec la ville voisine avant d'envisager leur raccordement.

L'intégration du projet dans le cadre contractuel existant de la DSP est donc envisageable à court terme et conseillée pour le scénario périmètre restreint.

Un avenant sera toutefois requis compte-tenu des investissements complémentaires importants et des adaptations tarifaires à formaliser.

Remarque sur le classement automatique du réseau en 2022 :

Par ailleurs, conformément à l'article L712-1 version applicable au 1er janvier 2022 du code de l'énergie, et à la LOI n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat, le réseau de chaleur sera automatiquement classé dès lors qu'il est alimenté à plus de 50 % par des énergies renouvelables ou de récupération (EnR&R).

Le périmètre classé et les conditions de dérogation seront définis par La Ville de Limeil-Brévannes (autorité délégante) qui devra rédiger les documents associés, et ce notamment conformément aux éventuelles dispositions prévues dans le PLU.

A partir du 1^{er} Juillet 2023, toute nouvelle construction (hors éligibilité aux dérogations) sur le périmètre de la DSP sera tenue de se raccorder au réseau, ce qui facilitera son développement.

12. SYNTHÈSE ET PLAN D' ACTIONS

12.1 Synthèse de l'analyse technico-économique

Les deux scénarios présentés dans l'étude permettent de conclure quant à la faisabilité d'étendre le réseau de chaleur actuel en maintenant un bon taux d'EnR&R (> 70 %), en nécessitant des investissements supplémentaires pour la création d'outils de production EnR&R à hauteur de la taille de l'extension envisagée.

Le scénario périmètre restreint apparaît comme le meilleur compromis d'un point de vue énergétique et économique.

D'un point de vue économique, les extensions du réseau de chaleur identifiées dégradent légèrement la rentabilité actuelle du contrat de DSP du réseau de chaleur. Ceci s'explique entre autres par des hypothèses prudentes considérées et sur le niveau de charges d'exploitation.

Ainsi, plusieurs marges de manœuvre ont été étudiées pour le maintien d'un équilibre économique du scénario privilégié (scénario périmètre restreint), voir la diminution du prix de la chaleur sur le réseau :

- Un niveau de subvention à optimiser, pour éventuellement dépasser un taux de subvention de 20 % permettant de diminuer le prix de la chaleur ;
- Un effort de SCLB sur la rentabilité du projet.

12.2 Plans d'actions

À la suite de cette étude, I THERM CONSEIL propose le plan d'action ci-dessous pour l'extension du réseau de chaleur actuel :

- **1^{er} trimestre 2022** : Validation de l'étude économique avec le délégataire ;
- **2^e trimestre 2022** : Echanges avec les principaux prospects ;
- **2^e semestre 2022** : Propositions commerciales du délégataire ;
- **Fin 2022** : Formalisation d'un avenant à la DSP actant les raccordements et l'éventuelle évolution tarifaire ;
- **2023/2024** : Début des travaux ;
- **2024/2025** : Mise en service des nouvelles installations et démarrage des nouvelles ventes de chaleur.

13. TABLE DES FIGURES

Figure 1 – Evolution contractuelle du réseau	12
Figure 2 – Tracé du réseau.....	14
Figure 3 – Liste des abonnés du réseau et puissances souscrites	16
Figure 4 – Mixité énergétique 2021 du réseau.....	17
Figure 5 – Monotone de la situation de référence du réseau.....	18
Figure 6 – Bilan de production de la situation de référence du réseau.....	19
Figure 7 – Répartition mensuelle des besoins de la situation de référence du réseau en conditions standards.....	19
Figure 8 – Décomposition du R1	20
Figure 9 – Décomposition du R2.....	21
Figure 10 – Démarche EnR'Choix de l'ADEME.....	24
Figure 11 – Réseaux de chaleur présents à proximité du réseau de chaleur de la Ville de Limeil-Brévannes.....	24
Figure 12 – Modalités de valorisation de chaleur fatale. Source : Antoine Dagan.....	26
Figure 13 – Caractéristiques des différents types de chaleur fatale et classification. Source : ADEME	26
Figure 14 – STEP recensée à proximité de la Ville de Limeil-Brévannes.....	29
Figure 15 – Sites présentant de la chaleur fatale recensés à proximité de la Ville de Limeil-Brévannes.....	29
Figure 16 – Cartographie des sites présentant de la chaleur fatale à proximité de Limeil-Brévannes.....	30
Figure 17 - Différents type de géothermie. Source : ADEME et BRGM	31
Figure 18 – Schéma de principe d'un doublet géothermique au Dogger. Source : CFG Services	32
Figure 19 – Nombre de doublets au Dogger mis en service depuis 1969 - Exemple du Bassin parisien. Source : BRGM (2013).....	32
Figure 20 – Gradient de température au Dogger	34
Figure 21 – Emprise des gélules géothermiques au Dogger	34
Figure 22 – Schéma de principe d'une chaufferie biomasse. Source : IDé.....	36
Figure 23 – Principales étapes de la méthanisation.....	38
Figure 24 – Schéma de principe de la filière méthanisation. Source : Advanced Energies Groupe Vinci.....	39
Figure 25 – Rubriques ICPE des installations de méthanisation	40
Figure 26 – Les unités d'injection de gaz vert dans le réseau GRDF. Source : GRDF (2020).....	40
Figure 27 – Liste des prospectus identifiés raccordables au réseau.....	45
Figure 28 – Localisation des prospectus identifiés.....	45
Figure 29 – Répartition des besoins de chaleur par typologie de bâtiment.....	45
Figure 30 – Répartition des besoins des prospectus raccordables par type d'activité.....	46
Figure 31 – Répartition du nombre de prospectus raccordables par type d'activité	46
Figure 32 – Carte de chaleur	47
Figure 33 – Carte des zones de besoins	48
Figure 34 – Données des zones de besoins.....	48
Figure 35 – Hypothèses de simulations.....	50
Figure 36 – Prospectus du scénario périmètre restreint	51
Figure 37 – Cartographie des extensions du scénario périmètre restreint.....	52
Figure 38 – Analyse énergétique du scénario périmètre restreint.....	52
Figure 39 – Prospectus du scénario périmètre restreint	54
Figure 40 – cartographie des extensions du scénario périmètre élargi.....	55
Figure 41 – Analyse énergétique du scénario périmètre élargi	56

Figure 42 – Schéma de principe du module d'optimisation de récupération de chaleur sur chaudière biomasse. Source : CIBE (2018).....	57
Figure 43 – Synthèse des moyens de production pris en compte.....	58
Figure 44 – Bilan de production du scénario périmètre restreint.....	59
Figure 45 – Monotone simulée du scénario périmètre restreint.....	59
Figure 46 – Bilan de production du scénario périmètre élargi.....	60
Figure 47 – Monotone simulée du scénario périmètre élargi.....	61
Figure 48 – Hypothèses d'investissements.....	64
Figure 49 – Bilan des investissements.....	64
Figure 50 – Barème des subventions d'une production biomasse. Source : ADEME Fonds Chaleur (2022).....	66
Figure 51 – Plafond d'assiette des subventions réseaux. Source : ADEME Fonds Chaleur (2022).....	67
Figure 52 – Subventions et montants à financer par scénario.....	67
Figure 53 – Synthèse des charges P1.....	69
Figure 54 – Synthèse des charges P2.....	69
Figure 55 – Synthèse des charges P3.....	70
Figure 56 – Synthèse des charges annuelles.....	70
Figure 57 – Sensibilité du scénario périmètre restreint.....	71
Figure 58 – Sensibilité du scénario périmètre élargi.....	72

14. GLOSSAIRE

CVE / UVE : Centre de valorisation énergétique / Usine de valorisation énergétique. Statut atteint par les incinérateurs d'ordure ménagère à partir d'un certain seuil de valorisation énergétique (électricité et chaleur), permettant de diminuer la taxe générale sur les activités polluantes.

Densité thermique : Quantité d'énergie thermique appelée par mètre de conduite du réseau de chaleur installée.

Degré Jour Unifié (DJU) : Différence de température entre la température extérieure et la température de 18°C (température intérieure des logements), multipliée par la durée de cette différence (en jours).

DN : Diamètre Nominal (d'une conduite).

DSP : Délégation de Service Public.

Durée équivalente à pleine puissance : Voir taux d'utilisation équivalent à pleine puissance.

Echangeur de chaleur : Dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre sans les mélanger. Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides. Ils sont souvent de type échangeurs à plaques (les surfaces d'échange sont des plaques de métal).

ECS : Eau Chaude Sanitaire.

EnR&R : Energies nouvelles Renouvelables et de Récupération.

DOE : Dossier des Ouvrages Exécutés.

FOL/FOD : Fioul Lourd / Fioul Domestique.

GER : Gros Entretien et Renouvellement.

GN : Gaz Naturel.

Gradient géothermal : Augmentation de température constatée dans le sous-sol à mesure que l'on s'éloigne de la surface.

GTA : Groupe Turbo-Alternateur – Installation visant à transformer l'énergie mécanique (rotation d'une turbine) en énergie électrique (courant alternatif).

GTC : Gestion Technique Centralisée.

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement. Dans le cas d'une chaufferie cela concerne les installations dont la puissance est supérieure à 1 MW.

IRIS : Ilots Regroupés pour l'Information Statistique. Découpage du territoire en mailles de taille homogène d'environ 2 000 habitants réalisé par l'INSEE.

MWh_{ut} : MWh_{utile}, quantité d'énergie ne nécessitant pas d'être transformée pour être utilisée. Par opposition aux MWh_{PCS} et MWh_{PCI} des énergies fossiles.

PE TGAP : Indicateur de valorisation énergétique (Performance Energétique) servant de base pour la détermination du montant de la TGAP.

P1/P2/P3/P4 : Dénominations standards des charges d'exploitation dans le chauffage collectif correspondant respectivement à :

- L'achat de combustible,

- L'entretien courant,
- Les charges de Gros Entretien et Renouvellement,
- Le financement.

Rendement d'un réseau de chaleur : Rapport entre la quantité de chaleur livrée en sous-stations et la quantité de chaleur produite en tête de réseau, permettant d'évaluer les pertes thermiques du réseau.

Réseau primaire : Partie du réseau de chaleur située en amont des sous-stations, reliant celles-ci aux centrales de production de chaleur.

Réseau secondaire : Réseau situé en aval des sous-stations, permettant de relier celles-ci aux locaux à chauffer. Le réseau secondaire ne fait pas juridiquement partie du réseau de chaleur géré par le délégataire.

RT (2005/2012 ...) : Règlementation Thermique.

Taux d'utilisation équivalent à pleine puissance : Aussi appelé facteur de charge, il s'agit du ratio entre l'énergie effectivement produite par un moyen de production et l'énergie qui aurait été produite si ce moyen de production fonctionnait à pleine puissance en permanence. En multipliant ce taux par le nombre d'heure annuel, on obtient la durée équivalente à pleine puissance.

TGAP : Taxe Générale sur les Activités Polluantes.

TICGN/TICPE : Taxe Intérieure sur la Consommation de Gaz Naturel / de Produits Energétiques.

Température de base : Température extérieure de référence pour la réalisation des bilans thermiques. Elle correspond à la température minimale (constatée au moins 5 jours dans l'année) d'un lieu donné.

SIAAP : Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne.

Sous-station : Interface entre le réseau primaire et le réseau secondaire, la sous-station est le lieu où la chaleur est livrée par le fournisseur du service de chauffage urbain. Physiquement, il s'agit d'un échangeur thermique, situé en général en pied d'immeuble.

STEP : Station de Traitement des Eaux Polluées.

UIDND, ex-UIOM : Usine d'Incinération des Déchets Non Dangereux.

UVE : Voir CVE.

VNC : Valeur Nette Comptable, montant des biens restant à amortir à la fin de la délégation.