

**SECTEUR DES COTEAUX
ORMESSON-SUR-MARNE (77)**

**ETUDE D'APPROVISIONNEMENT
EN ENERGIE RENOUVELABLE ET
DE RECUPERATION**

21 juin 2022

REF : 2022.0096 E01 B

Rédigé par : R. LAMY



SOMMAIRE

			5.1	Scénarios retenus	43
1	CONTEXTE	3	6	Analyse technico économique des scénarios	45
1.1	Objectif de l'étude	3	6.1	Hypothèses et indicateurs d'analyse	45
1.2	Contexte réglementaire	4	6.2	Scénario de référence adapté à la RE2025	47
2	ANALYSE DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES	9	6.3	Scénario création d'un réseau de chaleur biomasse	49
2.1	Descriptif des besoins	9	6.4	Scénario création d'une boucle d'eau géothermale sur nappe superficielle	52
2.2	Programmation	9	6.5	Synthèse comparative des scénarios	55
2.3	Evaluation des besoins énergétiques	10			
2.4	Construction de la stratégie énergétique	11			
3	INVENTAIRE DU POTENTIEL EN ENERGIE RENOUVELABLE	12			
3.1	Contexte climatique du site	12			
3.2	Les réseaux de chaleur	14			
3.3	La géothermie	16			
3.4	Aérothermie	23			
3.5	Les énergies de récupération	24			
3.6	La biomasse	29			
3.7	La méthanisation et la micro-méthanisation	34			
3.8	L'énergie solaire	35			
3.9	L'éolien	40			
4	BILAN ATOUTS-CONTRAINTES	41			
5	CONSTRUCTION DE LA STRATEGIE ENERGETIQUE	43			

1 CONTEXTE

1.1 Objectif de l'étude

L'étude d'approvisionnement en énergies renouvelables du projet d'aménagement de la ZAC des Côteaux d'Ormesson à Ormesson-sur-Marne vise à qualifier le potentiel en énergies renouvelables de la zone et du secteur opérationnel et à guider l'aménageur quant aux choix stratégiques à retenir pour l'approvisionnement énergétique du quartier. Cette étude s'inscrit également dans le cadre de l'étude d'impact réalisé sur le projet des Côteaux d'Ormesson à Ormesson-sur-Marne.

L'étude d'approvisionnement en énergie renouvelable répond aux exigences décrites dans l'article L128-4 du code de l'urbanisme, précisant que : « *Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L. 300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération.* ».



Figure 1 : Projet des Côteaux – Plan guide

1.2 Contexte réglementaire

1.2.1 Les ambitions nationales

Loi Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV)

La transition énergétique est un enjeu fondamental du 21^{ème} siècle. Afin de relever ce défi, la France se doit de mener une politique exemplaire pour lutter efficacement contre le réchauffement climatique et réduire le recours aux énergies fossiles et nucléaires. La transformation du modèle énergétique permet de favoriser l'emploi, d'encourager l'innovation et d'augmenter le pouvoir d'achat grâce aux économies d'énergie. La loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte explicite les objectifs à venir pour le pays :

- **Réduire de 40%** les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2030 et **diviser par quatre** les émissions de gaz à effet de serre (GES) entre 1990 et 2050 ;
- **Réduire de 50%** la consommation énergétique finale en 2050 par rapport à la référence 2012 ;
- **Porter à 32%** la part des énergies renouvelables (EnR) de la consommation finale d'énergie en 2030 et à **40%** dans la production d'électricité.

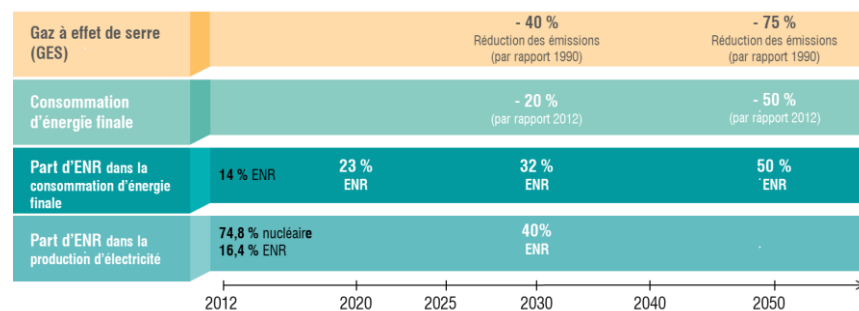


Figure 2 : Récapitulatif des objectifs de la LTECV - Vizea

Loi Énergie Climat (LEC)

Une nouvelle loi venant compléter la LTECV a été adoptée en 2019 : la Loi Énergie Climat (LEC). L'objectif de cette loi est d'**atteindre la neutralité carbone à l'échéance 2050**. Elle se concentre sur trois objectifs principaux à savoir :

- Décarboner le mix énergétique en accélérant la baisse de la consommation d'énergies fossiles à 40% en 2030 (au lieu de 30%) et mettre fin à la production d'électricité à partir du charbon ;
- Transformer notre modèle énergétique avec des objectifs réalistes, en portant le délai à 2035 pour la baisse de la part de nucléaire dans le mix énergétique ;
- Evaluer la mise en œuvre des engagements dans tous les secteurs en créant le Haut Conseil pour le climat, chargé notamment d'étudier les décisions prises par l'état et de recommander des actions en faveur de la lutte contre le dérèglement climatique ;
- Cette loi vient ainsi renforcer les ambitions politiques énergétiques de la France, en cohérence avec la **Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE)** et la **Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)**.

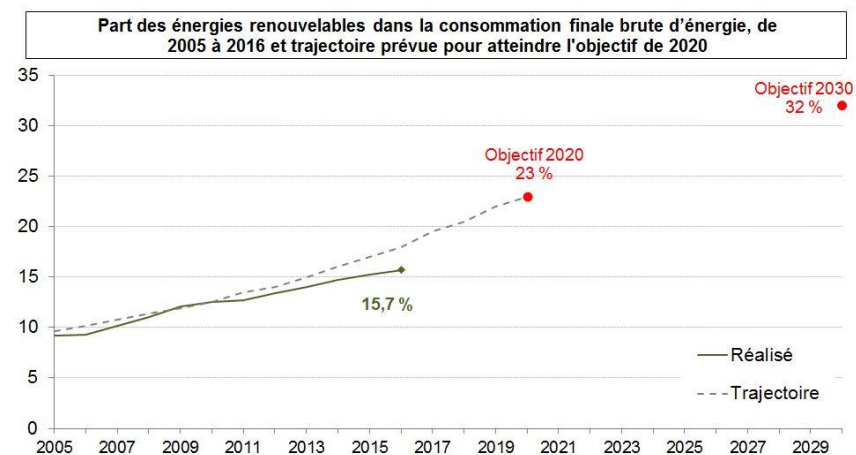


Figure 3 : Trajectoire de la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie – Statistique.Développement-Durable.gouv.fr

Loi Climat et Résilience

La loi portant sur la lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets, dite loi « Climat et Résilience » a été adoptée en août 2021 suite à la traduction d'une partie des 146 propositions de la Convention Citoyenne pour le Climat (CCC), afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40% d'ici 2030.

Cette loi s'articule autour des cinq thématiques présentées par la CCC, à savoir : consommer, produire et travailler, se déplacer, se loger, se nourrir. Elle renforce aussi la protection judiciaire de l'environnement.

Sur le volet énergétique, la loi Climat et Résilience soutient les énergies renouvelables notamment via :

- Le développement des communautés citoyennes d'énergies renouvelables : en définissant formellement des objectifs de production d'énergies renouvelables lors de la prochaine PPE. L'État devra ainsi mettre en œuvre les outils nécessaires pour soutenir cette production d'énergie verte par et pour tous ;
- L'obligation d'installer des panneaux solaires ou des toits végétalisés lors de la construction ou rénovation lourde étendue aux surfaces commerciales avec une baisse du seuil à 500 m² de création de surface. Elle est aussi étendue aux immeubles de bureaux de plus de 1 000 m² et aux parkings de plus de 500 m².
- Les fournisseurs de gaz naturel devront obligatoirement intégrer une part de biogaz dans le gaz qu'ils commercialisent.

RE2020

Conformément au décret n° 2021-1004 du 29 juillet 2021 relatif aux exigences de performance énergétique et environnementales des constructions de bâtiments en France métropolitaine, de nouvelles exigences encadrées par la RE2020 sont entrées en vigueur depuis le 1er janvier 2022 pour la construction

de bâtiments ou parties de bâtiments à usage d'habitation, et s'appliqueront à partir au 1er juillet 2022 aux constructions de bâtiments ou parties de bâtiments de bureaux, ou d'enseignement primaire ou secondaire. La RE2020 renforce les attentes sur le volet énergétique des constructions neuves selon cinq leviers d'actions principaux :

- **L'optimisation de la conception énergétique du bâti indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre** : les besoins bioclimatiques des logements (Bbio max) sont abaissés de 30 % pour tous les logements par rapport aux exigences de la RT2012.
- **La limitation de la consommation d'énergie primaire (CEP) et d'énergie primaire non renouvelable (CEP nr)** : ce nouvel indicateur (CEP nr) a notamment pour but d'éviter la mise en œuvre de chauffage électrique par effet joule et de limiter les solutions tout gaz afin de s'orienter vers des solutions plus vertueuses type géothermie, biomasse, réseau de chaleur.
- **La limitation de l'impact sur le changement climatique associé à ces consommations d'énergie (Ic_{énergie})** : la RE2020 fixe des seuils d'émission de GES pour réduire puis exclure progressivement l'usage des énergies fossiles comme source d'approvisionnement énergétique principale.
- **La limitation de l'impact des composants du bâtiment sur le changement climatique (Ic_{construction})** : la RE2020 impose désormais une Analyse de Cycle de Vie basée sur un modèle dynamique et fixe des seuils d'émission à ne pas dépasser pour les produits de construction, favorisant ainsi les matériaux stockant le carbone ou autrement dit les matériaux biosourcés (laine de bois, chanvre, bois...).
- **La limitation des situations d'inconfort dans le bâtiment en période estivale** : la RE2020 supprime l'indicateur de Température Intérieure de Confort (TIC) de la RT2012 et crée un indicateur Degrés-Heures calculé par simulation thermique dynamique permettant de caractériser le confort estival des constructions.

1.2.2 Les ambitions du territoire

Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCAE) d'Île-de-France

Le Schéma Régional Climat Air Énergie (SRCAE) de la Région Île-de-France détermine les orientations à suivre pour préserver la qualité de l'air et lutter localement contre les changements climatiques, notamment pour réaliser le "facteur 4" d'ici 2050 : la réduction de 17% des consommations énergétiques liées au bâtiment d'ici 2020 et de 50% à horizon 2050 ; la couverture des consommations par des énergies renouvelables et de récupération de l'ordre de 11% en 2020 et 45% en 2050

Le Plan Climat Air Énergie Territorial (PCAET) de Grand Paris Sud Est Avenir

Le projet de Plan Climat 2019-2025 a été adopté par le Conseil de Territoire du 2 octobre 2019. Il formalise l'engagement de GPSEA en matière de transition énergétique, d'atténuation et d'adaptation au changement climatique et d'amélioration de la qualité de l'air, en cohérence avec l'Accord de Paris.

Il porte sur 5 volets : climat, air, énergie, économie durable et circulaire, éco-exemplarité de la collectivité.

Le PCAET décline ces 5 volets en 50 actions pour la transition écologique, économique et environnementale de GPSEA.

Sur le volet énergétique le Plan Climat vise notamment à l'augmentation de la production d'énergie renouvelable et de récupération de 30% à horizon 2030 et de 50% à horizon 2050 sur tout le territoire ainsi qu'à l'atteinte d'un objectif de 24% d'EnR locale dans la consommation d'énergie finale en 2030. Il vise également à la réduction de la consommation énergétique de 50 % en 2050 par rapport à 2012 et démontre une volonté forte de lutter contre la précarité énergétique.

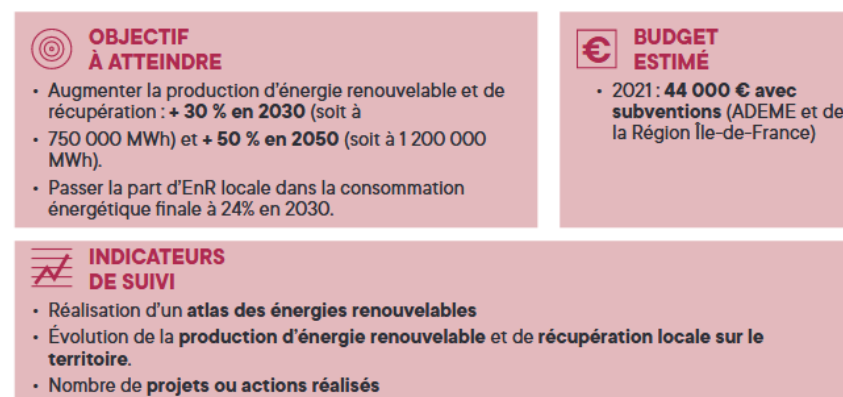


Figure 4 : Détail de l'action 4 du PCAET - Développer les énergies renouvelables et de récupération

Le Plan Local d'Urbanisme d'Ormesson-sur-Marne

Le PLU d'Ormesson-sur-Marne approuvé le 28 décembre 2015 et dont la deuxième et dernière modification date de décembre 2020 ne formule pas d'exigences de recours aux énergies renouvelables ou relatives à la performance énergétique de l'enveloppe bâti.

Le PADD souligne toutefois la volonté de :

- Promouvoir les initiatives de réduction de la consommation d'énergie, telles que les concours de réduction de consommation énergétique, et rechercher dans les futurs programmes la promotion de bâtiments économes en énergie, voire à énergie positive².
- Affirmer la volonté de recourir aux énergies renouvelables lorsque le bilan économique est favorable.

1.2.3 Localisation de la zone d'étude



Figure 5 : Périmètre de la ZAC des Côteaux

Le projet de la ZAC des Côteaux d'Ormesson-sur Marne, est situé au sud-ouest de la commune d'Ormesson en limite de la commune de Sucy-en-Brie.

Le projet des Côteaux est constitué de 14 lots regroupant une surface de plancher de 35 399 m² dont 33 777 m² de logements, 2 524 m² de logements étudiants et 1 622 m² de commerces.



Figure 6 : Plan guide du projet

1.2.4 Contexte énergétique territorial

Les sources production locale d'énergie par commune en Ile-de-France sont recensées sur la base de données du Réseau d'Observation Statistique de l'Energie et des Emissions de gaz à effet de serre en Ile-de-France (ROSE).

L'ensemble des productions locales d'énergie sur la commune et aux alentours sont synthétisées ci-après.

Installations biomasse en 2019

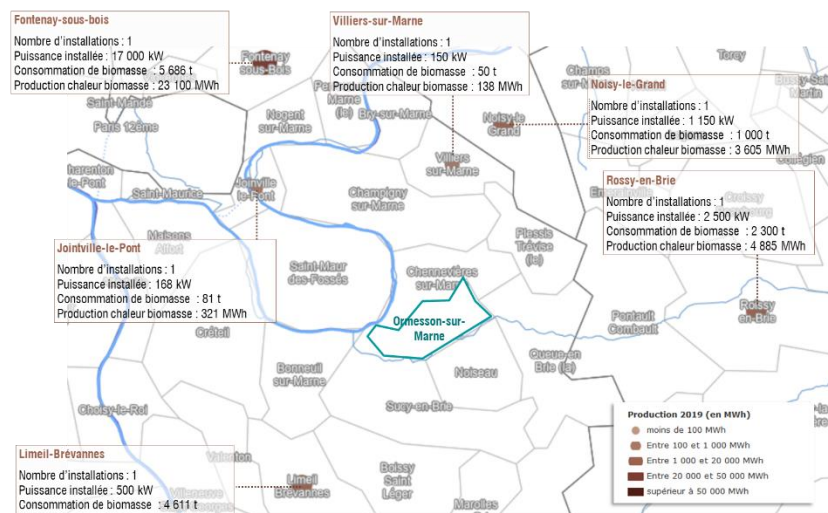


Figure 7 : Production biomasse en 2019 – Energif, ROSE

A l'échelle de la commune, d'après les données 2019, aucuns systèmes de production d'énergie biomasse ni de géotherme basse énergie ne sont recensés. On constate toutefois que la géothermie de basse énergie est bien implantée sur le territoire puisque plusieurs commune voisine possède des installations sur Dogger.

La commune compte 30 installations photovoltaïques assurant une production modérée. Les communes alentour disposent également de telles installations.

Installation géothermie basse énergie en 2019

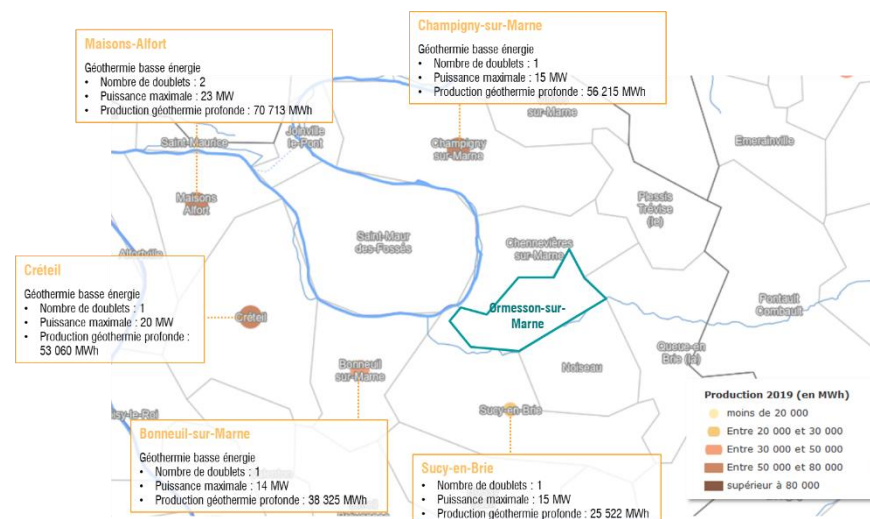


Figure 8 : Production géothermie basse énergie en 2019 - Energif, ROSE

Installation photovoltaïque en 2019

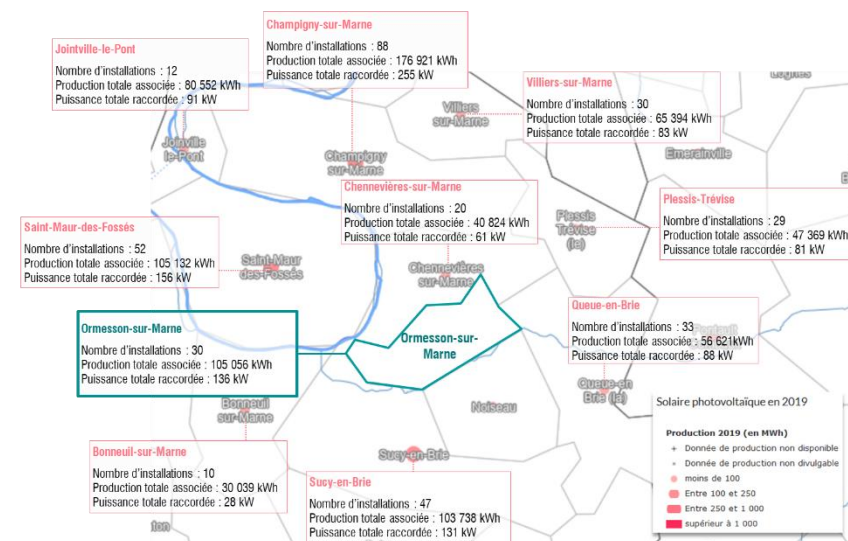


Figure 9 : Production photovoltaïque en 2019 - Energif ROSE

2 ANALYSE DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES

2.1 Descriptif des besoins

Les besoins qui sont estimés dans la présente étude sont séparés en 4 catégories :



Besoins de chauffage : chauffage des bâtiments. Il ne s'agit pas d'un calcul réglementaire, en effet, l'objectif est ici d'être le plus proche de la réalité possible. La température de consigne utilisée est donc prise à 21,5°C, ce qui correspond aux températures de consigne observées.



Besoins d'ECS : besoin d'eau chaude sanitaire. Le besoin d'ECS ne dépend que très peu de l'enveloppe du bâtiment. Le facteur le plus influent est en effet l'occupation et la typologie de ce bâtiment.



Besoins de froid : rafraîchissement des bâtiments. Tout comme pour le chauffage, il ne s'agit pas d'un calcul réglementaire mais d'une approche empirique pour estimer au mieux les besoins de froid des bâtiments.



Besoins d'électricité : ensemble des postes consommant de l'électricité. L'estimation de ce besoin ne se limite pas aux postes compris dans la RT ou la RE (éclairage, ventilation et auxiliaires), mais inclut également les consommations d'électricité dites spécifiques, qui comprennent les besoins électriques des appareils électroménagers, des équipements multimédias, etc.

2.2 Programmation

La programmation prise en compte est celle du plan guide réalisée par l'ANMA. Elle est détaillée ci-dessous

LOT	Programme avant PC			
	SDP Commerce	SDP Etudiant	SDP totale logements	SDP Totale
LOT A	1 267 m ²	2 524 m ²	7 234 m ²	8 501 m ²
LOT B	355 m ²		1 587 m ²	1 942 m ²
LOT C			5 809 m ²	5 809 m ²
LOT D			1 824 m ²	1 824 m ²
LOT E			1 566 m ²	1 566 m ²
LOT F			2 278 m ²	2 278 m ²
LOT G			3 652 m ²	3 652 m ²
LOT H			3 347 m ²	3 347 m ²
LOT I			739 m ²	739 m ²
LOT J			4 065 m ²	4 065 m ²
LOT K			742 m ²	742 m ²
LOT L			742 m ²	742 m ²
LOT M			2 912 m ²	2 912 m ²
TOTAL	4 182 m²	2 524 m²	36 496 m²	38 118 m²

Figure 10 : Programmation en SDP

2.3 Evaluation des besoins énergétiques

L'hypothèse est que l'ensemble des bâtiments atteint le niveau RE2020.

	Surface	Besoin en chaleur (kWh/an)	Besoin en ECS (kWh/an)	Puissance chaleur (kW)	Besoins en froid (kWh/an)	Puissance froid (kW)	Besoin en électricité (kW/an)
Logements collectifs	27 412 m²	591 003	603 064	959	0	0	685 300
Logements intermédiaires	6 560 m²	141 434	144 320	230	0	0	164 000
Logements étudiants	2 524 m²	54 417	55 528	90	0	0	63 100
Commerces	1 622 m²	61 198	14 274	57	64 880	146	72 990
Total	38 118m²	848 052	817 186	1 336	64 880	146	985 390

Les besoins en électricité sont les plus importants, ce qui est cohérent étant donnée l'hypothèse de bonne performance de l'enveloppe des bâtiments conformément à la RE2020. Viennent ensuite les besoins en chauffage puis en ECS.

Dans l'ensemble, c'est le projet du complexe sportif qui sera le plus consommateur d'électricité, de chauffage et de froid, tandis que la programmation résidentielle sera la plus consommatrice d'ECS.

La stratégie énergétique dépend en grande partie des besoins énergétiques. La première étape d'une stratégie énergétique vertueuse est donc de limiter les besoins, avant de limiter les impacts liés à la production. La construction avec un objectif de performance énergétique RE2020 permet de réduire les besoins énergétiques du projet. Dans le périmètre du complexe sportif, une stratégie sur un approvisionnement en chaleur renouvelable sera particulièrement pertinente au regard de la part de la consommation en chauffage.

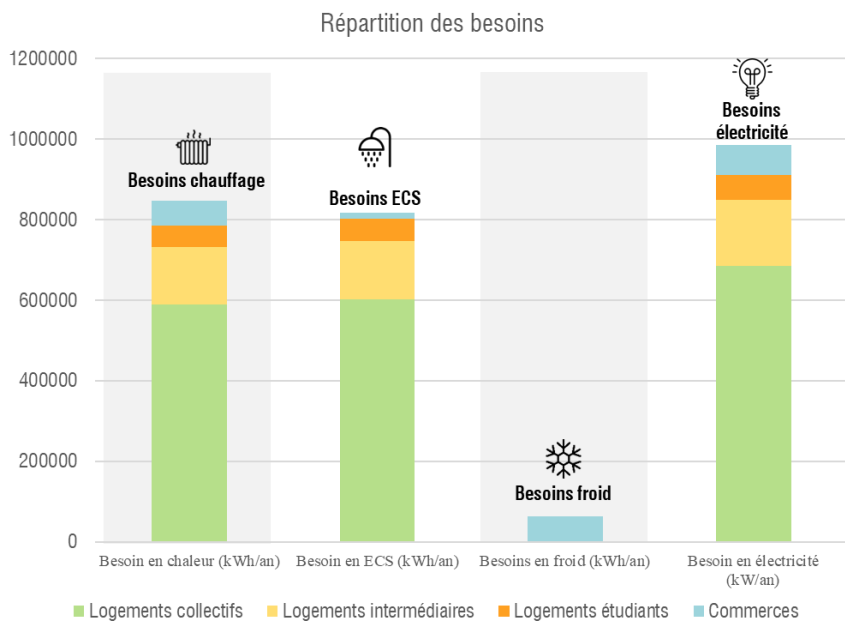


Figure 11 : Répartition de besoins en kWh/an

2.4 Construction de la stratégie énergétique

La construction d'une stratégie énergétique cohérente repose sur plusieurs leviers. En effet, cette stratégie ne doit pas seulement concerner la production d'énergie renouvelable mais doit absolument intégrer les consommations et besoins en amont.

Il faut donc dans un premier temps évaluer les objectifs du projet en fonction de la consommation d'énergie en favorisant la sobriété et l'efficacité énergétique.

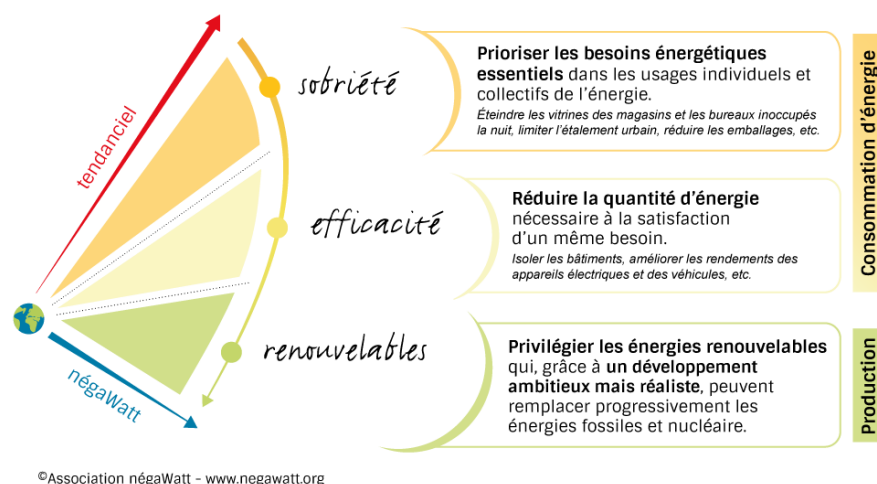


Figure 12 : Illustration sobriété, efficacité énergétique et énergies renouvelables

La sobriété est une démarche de modération sur les services par la consommation d'énergie qui consiste en une utilisation réfléchie de l'énergie utilisée avec une priorisation des besoins.

Les énergies renouvelables sont sollicitées dans un second temps, pour satisfaire les besoins énergétiques qui ne peuvent être évités. Il est par exemple difficile de réduire le besoin d'ECS en phase conception (lié aux usages uniquement), alors qu'il est aisé de réduire considérablement les besoins de chauffage (bioclimatisme, étanchéité à l'air, isolation ...).

Les énergies renouvelables permettent toutefois de couvrir ces consommations avec des impacts environnementaux réduits par rapport aux énergies fossiles.

3 INVENTAIRE DU POTENTIEL EN ENERGIE RENOUVELABLE

3.1 Contexte climatique du site

Le département du Val-de-Marne est situé en région d'Île-de-France, son climat est tempéré de type océanique dégradé.

Les données météorologiques prises en compte dans le cadre de cette étude sont celles de la station météo Paris-Montsouris située à 15 km de la commune de Ormesson-sur-Marne.

Les températures sur le territoire sont douces et s'élèvent en moyenne à 12,4°C.

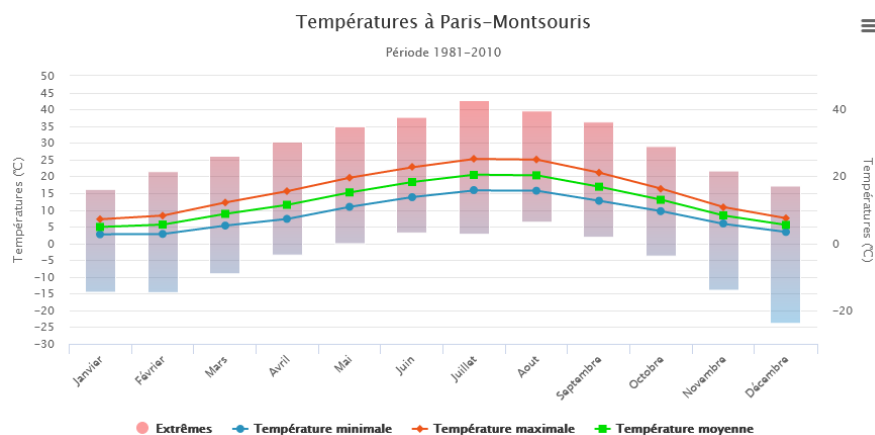


Figure 14 : Températures moyennes à Paris-Montsouris - Source : Météo France

A hauteur de la station Paris-Montsouris, l'ensoleillement sur une année est d'environ 1 662 heures.

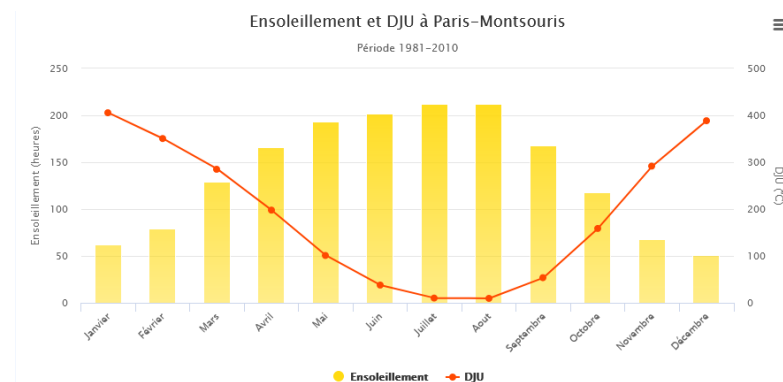


Figure 13 : Ensoleillement moyen à Paris-Montsouris - Source : Météo France

Les précipitations sont régulièrement réparties tout au long de l'année. Elles varient entre 41.2 mm en février et 61.5 mm en octobre. Ces précipitations annuelles atteignent une hauteur de 637.4 mm en cumul moyen sur l'année.

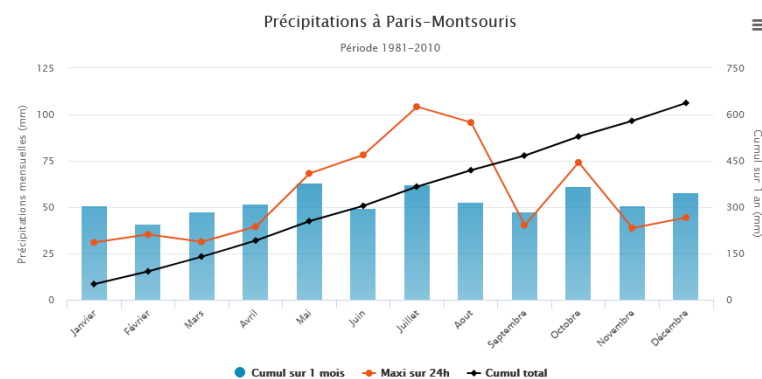


Figure 15 : Pluviométrie à la station Paris - Montsouris - Source : Météo France

Les vents dominants, dans la région du site, sont des vents de secteur Ouest / Sud-Ouest. En moyenne, les vitesses annuelles recensées s'élèvent à 7kts soient 2,9m/s à une hauteur de 10m et de 5,5m/s à une hauteur de 100m.

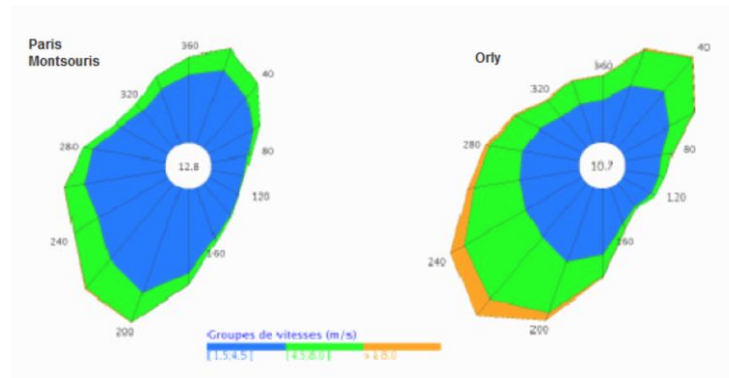


Figure 16 : Roses des vents en Ile-de-France – MétéoFrance

3.2 Les réseaux de chaleur

3.2.1 Réseaux de chaleurs existants

Le réseau de chaleur le plus proche du projet est le réseau de chaleur de Sucy-en-Brie géré par Sogesub (Engie). Alimenté à 87% par des énergies renouvelables grâce à une installation de géothermie basse énergie, le réseau de chaleur dispose d'une puissance de 29 MW et couvre 25 439 MWh de besoins en chaud chaque année, environ 3 000 logements.

Situé à environ 1,5 km, un raccordement de l'opération seul ne permettrait pas d'atteindre une densité énergétique suffisamment intéressante pour envisager cette solution.

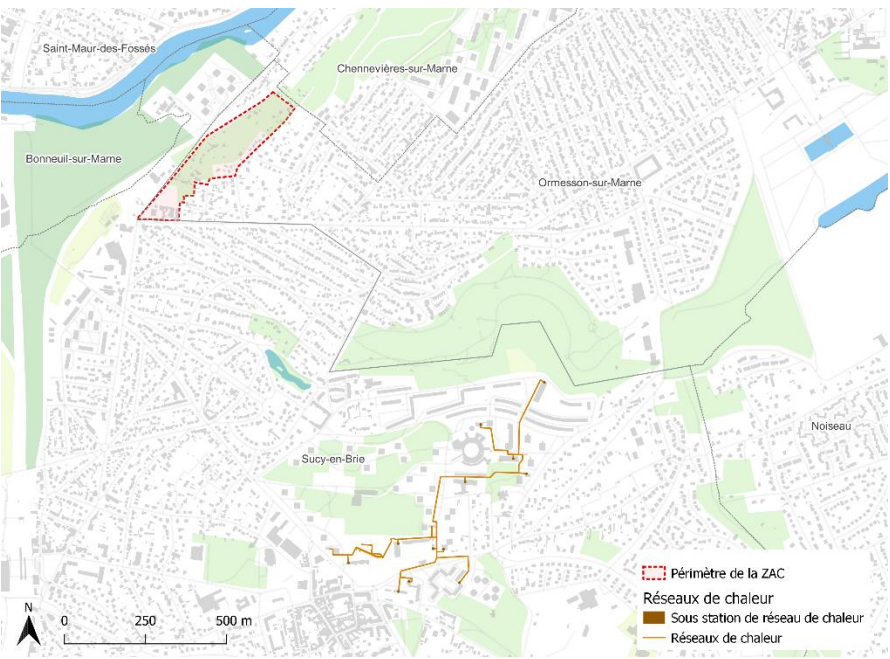


Figure 17 : Cartographie du réseau de chaleur urbain de Sucy-en-Brie

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Raccordement au réseau de Sucy-en-Brie	Quartier/commune	<ul style="list-style-type: none">- Mutualisation de l'approvisionnement énergétique et approvisionnement vertueux	<ul style="list-style-type: none">- Réseau situé sur une autre commune- Pas d'autre projet entre le réseau et le projet rendant un raccordement intéressant- 2 km de réseau à créer pour raccorder le projet- Densité énergétique de l'extension du réseau très faible (estimée à 0,6 MWh/ml.an)

Compte tenu de la faible densité énergétique estimée pour le seul raccordement de l'opération, l'absence d'autre opération à raccorder entre le projet et le réseau de Sucy-en-Brie ainsi que le fait que le réseau soit situé sur une autre commune rendent la

3.2.2 Création d'un réseau de chaleur

Dans le but de mutualiser les équipements de production de chaleur, il est possible d'implanter un réseau de chaleur au sein de la zone étudiée.

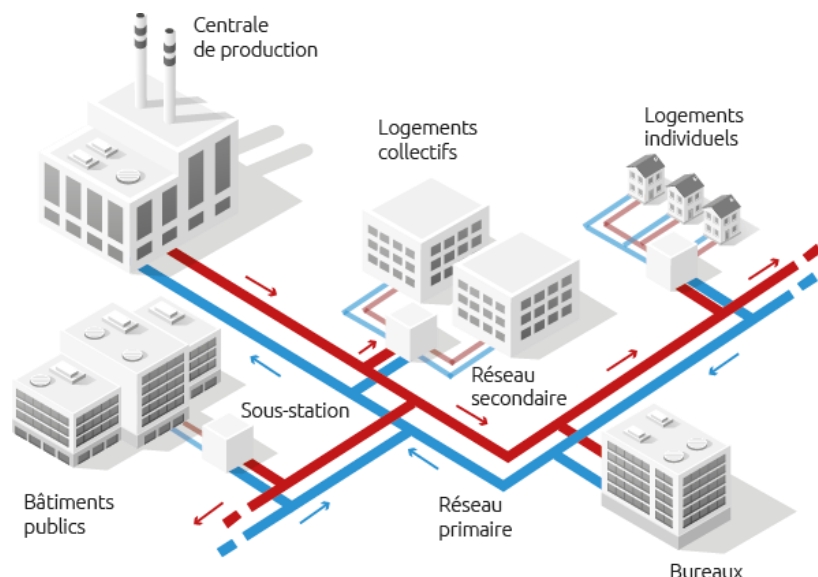


Figure 18 : Principe de création d'un réseau de chaleur

La puissance de chaud nécessaire pour couvrir les besoins en chaleur de l'opération s'élève à 1.4 MW. Cette puissance étant supérieure à 1 MW, la création d'un réseau de chaleur sur l'opération nécessite de réserver une emprise spécifique pour les équipements de production de chaleur.

La pertinence d'un réseau de chaleur se mesure par la densité énergétique de ce dernier. Ce ratio se calcule de la manière suivante : besoin en chaud (chauffage et ECS) / longueur du réseau de chaleur. La viabilité de cet équipement est reconnue et donc soutenue financièrement par l'ADEME à partir de 1,5

MWh/ml.an. Les installations récentes disposent généralement d'une densité entre 3 et 6 MWh/ml.an.

Etant donné du plan masse et de l'agencement des différents lots la densité énergétique d'un réseau de chaleur serait de 1.5 MWh/ml.an dans le cas d'un raccordement de tous les bâtiments. Cette densité est moyenne mais suffisante pour rendre un réseau de chaleur pertinent.

Cette densité peut être améliorée en envisageant seulement le raccordement des plus gros lots : A, B, C, D, E, F, G, H, J, M. La densité énergétique est alors de 2 MWh/ml.an.

La mise en place d'un réseau de chaleur nécessite toutefois de dégager une surface suffisante pour l'implantation d'une chaufferie au regard des puissances nécessaire sur l'opération. Au regard des enjeux écologiques présents sur le périmètre du projet, la chaufferie ne pourrait être implanté qu'au nord du passage de la Varenne sur une surface qui devrait être défrichée.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Création d'un réseau de chaleur	Quartier	<ul style="list-style-type: none"> - Mutualisation de la production de chaleur - Maitrise des systèmes énergétiques et des charges pour les futurs habitants - Réduction de la dépendance aux énergies fossiles si réseau vertueux - Réseau potentiellement subventionnable par l'ADEME 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité de dégager une emprise sur l'opération pour l'implantation de la chaufferie - Coût d'investissement important - Densité thermique peut être revue à la baisse en cas d'approche bioclimatique ou de recours à d'autres systèmes (solaire thermique, récupération sur eaux grises...)

La densité énergétique du projet est suffisante pour rendre un réseau de chaleur pertinent en particulier si l'on exclu les lots de logements intermédiaires situés à l'est du projet. L'implantation d'une chaufferie dédiée est la contrainte principale pour la mise en œuvre de cette solution.

3.3 La géothermie

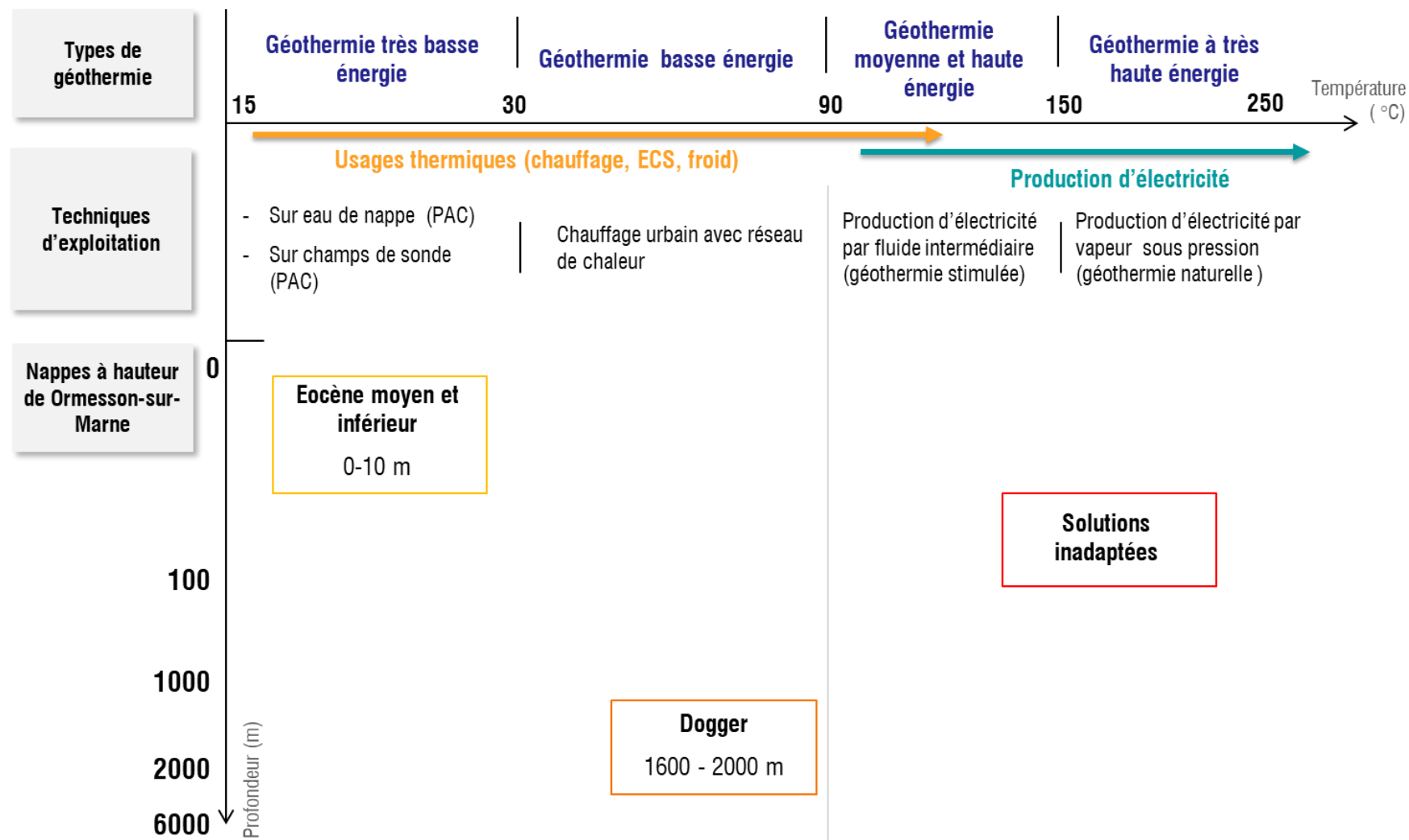


Figure 19: Cartographie des différents types de géothermie

3.3.1 Géothermie basse énergie (sur aquifère profond)

La géothermie sur aquifère profond, ou géothermie basse énergie, repose sur l'utilisation directe de la chaleur de l'eau chaude contenue dans les aquifères (couches géologiques poreuses imprégnées d'eau) profonds.

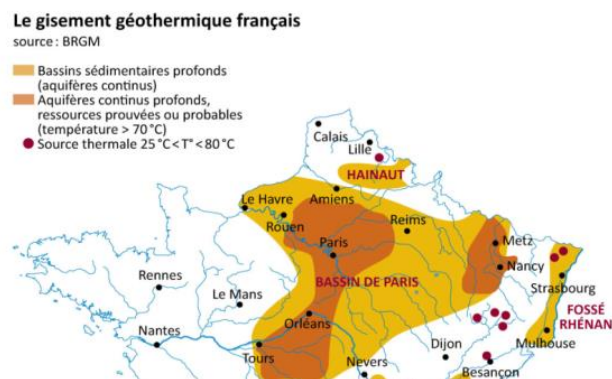


Figure 20 : Potentiel de l'aquifère - BRGM

Les coûts d'investissement particulièrement importants de cette solution nécessitent des besoins de chaleur élevés afin de rentabiliser les investissements de forage. La mise en place d'un réseau de chaleur alimenté en géothermie profonde présente un réel intérêt économique à partir de puissances mises en jeu de l'ordre de 10 MW.

On recense plusieurs installations de géothermie basse énergie sur les communes voisines témoignant du potentiel de l'aquifère du Dogger (Jurassique moyen) sur le territoire. Parmi ces communes : Sucy-en-Brie, Chennevière-sur-Marne, Bonneuil-sur-Marne.

Compte-tenu de la puissance de chaud du projet à 1,4 MW, cette solution n'est pas adaptée.

3.3.2 Géothermie très basse énergie (sur nappe superficielle)

Principe de fonctionnement

Une pompe à chaleur (PAC) sur nappe superficielle vient puiser des calories et/ou frigorifiques dans une nappe située à une profondeur généralement inférieure à 100 mètres du niveau du sol. Ce système est réversible et permet de produire du chaud et du froid.

La géothermie sur nappe prend la forme d'un doublet de forage. Le premier forage dit de « captation », permet d'acheminer le fluide via un échangeur jusqu'à la PAC pour en prélever le froid (ou le chaud en mode chauffage). Le second forage dit de « réinjection » permet de renvoyer l'eau dans le sous-sol afin de limiter la perturbation de la nappe.

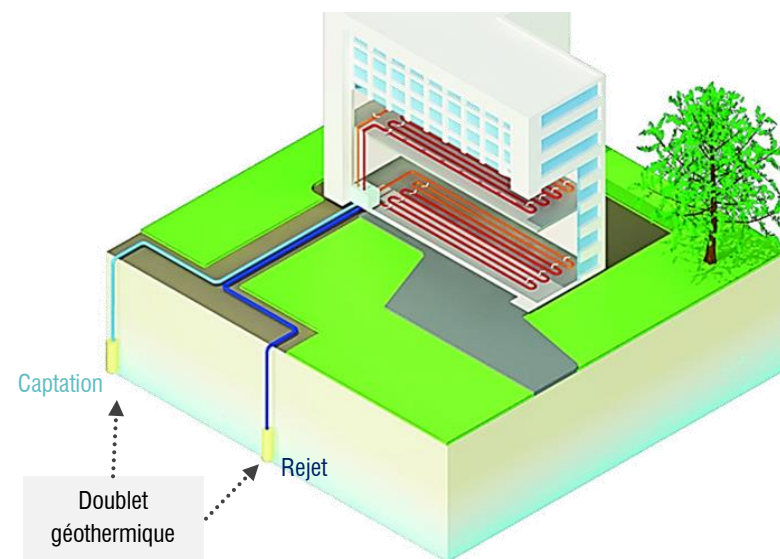


Figure 21 : Schéma de principe du fonctionnement PAC sur nappe - ADEME BRGM

Il est également possible d'utiliser l'installation sur nappe en mode géocooling, c'est-à-dire sans utiliser de pompe à chaleur (« by-pass ») en utilisant simplement l'échangeur. L'eau circule alors dans les canalisations à une température équivalente à celle pompée. Ce système a l'avantage de limiter la consommation d'énergie pour faire fonctionner la pompe à chaleur. Le pouvoir de rafraîchissement est cependant moindre mais peut convenir selon les besoins.

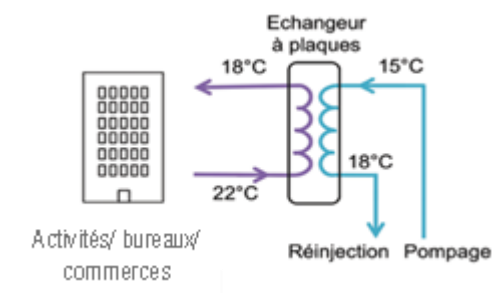


Figure 22 : Principe du géocooling – AFPG

Caractéristiques de la nappe

Les informations mises à dispositions par l'ADEME, le BRGM et l'ARENE soulignent un potentiel moyen à fort de la géothermie sur nappe au droit du projet et identifient la présence de deux nappes : la nappe de l'Eocène supérieur et la nappe de l'Eocène moyen et inférieur. Les caractéristiques fournies sont explicitées ci-dessous.

Nappe de l'Eocène supérieur

Potentiel : **Inconnu**
 Profondeur : -
 Débit : **Inconnu**
 Epaisseur : -
 Transmissivité : **< 0.001 m/s**
 Minéralisation : **Inconnue**

Nappe de l'Eocène moyen et inférieur

Potentiel : **Moyen**
 Profondeur : **<10 m**
 Débit : **50-100 m³/h**
 Epaisseur : **75–150 m**
 Transmissivité : **0.001 à 0.01 m/s**
 Minéralisation : **Fortement minéralisée**

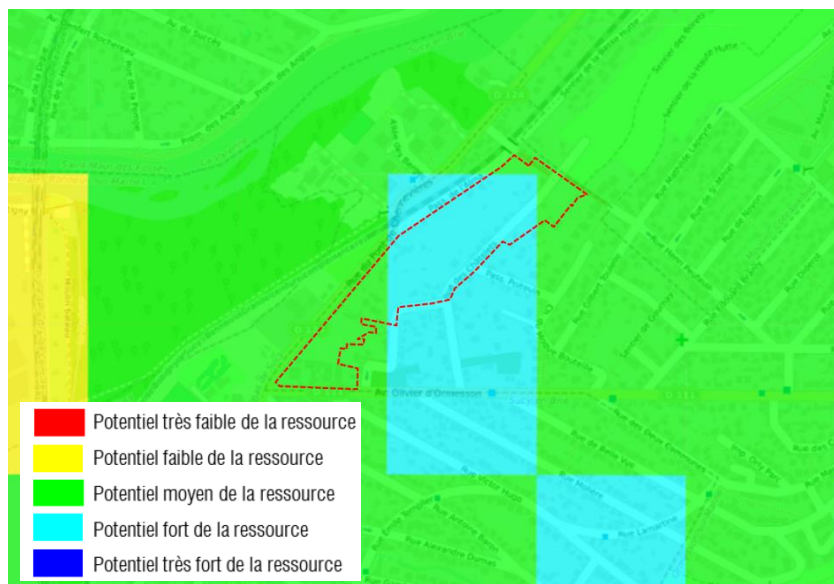


Figure 23 : Carte du potentiel géothermique superficiel - ADEME, ARENE et BRGM sur géothermies

Opportunités sur le projet

Le débit disponible sur la nappe de l'Eocène supérieur (entre 50 et 100 m³/h) sont intéressants.

Le débit disponible sur la nappe de l'Eocène moyen et inférieur (entre 50 et 100 m³/h) permet d'espérer une puissance thermique moyenne de 650 kW, par doublet géothermique, en considérant un COP de 5 et un écart de température prélèvement/rejet fixé à 6°C. Deux doublets permettraient quant à eux d'atteindre une puissance d'environ 1 300 kW. Cela correspond à **97% de la puissance** de chaud du projet.

¹ Afin de garantir la viabilité économique ainsi que la pérennité dans le temps de l'ouvrage la PAC n'est pas dimensionnée pour couvrir 100% des besoins en puissance (kW). Ce dimensionnement permet toutefois de garantir la couverture d'une majorité des besoins (kWh).

Pour une durée de fonctionnement de 2 000 heures/an, un ouvrage dimensionné pour couvrir 50%¹ de la puissance en chaud maximale nécessaire sur l'opération peut produire en moyenne **1 300 MWh/an**, soit **78% des besoins** de chaleur.

En utilisant une PAC réversible, l'installation géothermique peut également servir au rafraîchissement l'été en géocooling pour les logements et en mode actif pour les commerces. Un débit de 28 m³/h est suffisant pour couvrir les besoins en froid des commerces.

La réalisation d'un forage test est nécessaire pour déterminer précisément la profondeur de la nappe, son débit, sa température, son sens d'écoulement et de caractériser le rabattement de la nappe.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Géothermie superficielle / très basse énergie sur nappe	Quartier	<ul style="list-style-type: none"> - Production de chaud et de froid en géocooling - Ressource disponible permettant de couvrir les besoins en froid et en chaud dans leur majorité - Très bon rendement 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite la réalisation d'un forage test pour valider la ressource disponible - Nécessite un appoint de production de chaleur pour couvrir l'ensemble des besoins - Définir le foncier où seront implantés les doublets.

La nappe de l'Eocène moyen et inférieur peut être une ressource intéressante pour la production de chaleur et de froid. Cette solution est particulièrement pertinente lorsque son utilisation est équilibrée, avec des besoins de chauffage en hiver et de rafraîchissement en été.

3.3.3 Géothermie très basse énergie sur champs de sonde

La géothermie sur champ de sondes consiste à faire circuler dans plusieurs sondes implantées dans le sol un fluide caloporteur en circuit fermé. Ce fluide caloporteur permet de capter la chaleur présente dans le sol.

Sondes horizontales

Les sondes horizontales sont le plus souvent utilisées pour des maisons individuelles avec un terrain disponible attenant. Les sondes horizontales requièrent un grand terrain par rapport à la puissance produite et sont donc plus adaptées à une disposition pour maisons individuelles que pour du collectif. En effet, 1 m² de forage correspond à une puissance disponible de 40W. D'autre part, la présence de la nappe aquifère semble présenter de plus grandes possibilités pour le chauffage et sera utilisée en priorité.

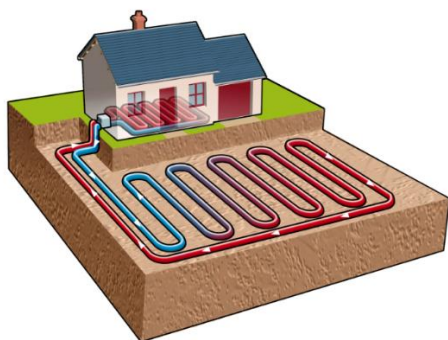


Figure 24 : Principe de la sonde géothermique horizontale

Sondes verticales

Les sondes implantées verticalement dans le sol, nécessitent un écartement minimum de 10 mètres entre elles afin de ne pas engendrer d'interférences thermiques. Une profondeur de 100 m est suffisante pour s'affranchir des

variations de température journalières et saisonnières où la température est constante autour de 14 °C. Une telle sonde correspond à une puissance géothermique de l'ordre de 5 kW.

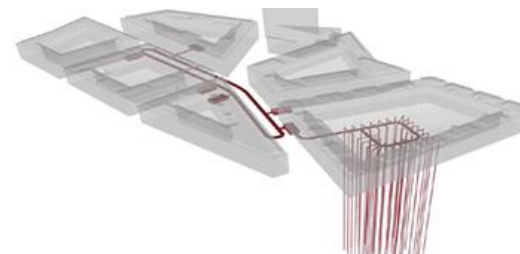


Figure 25 : Principe de la sonde géothermique verticale

Pour éviter un investissement et un nombre de sondes trop importants, on associe généralement ce système à une énergie d'appoint. Par ailleurs, contrairement à la solution sur nappe, le nombre de sonde est proportionnelle à la puissance attendue par conséquent on privilégie ce système pour des petites typologies de lots.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Géothermie sur sondes	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none">- Une solution de sondes verticales est plus adapté à un projet de logements collectifs que des sondes horizontales- Production de chaud et de froid en géocooling- Très bon rendement	<ul style="list-style-type: none">- Peu pertinent en présence d'une nappe superficielle à l'échelle du quartier- Nombre de sondes proportionnelle à la puissance nécessaire

Du fait de la présence d'une nappe superficielle, cette solution est peu pertinente à l'échelle du quartier. Elle peut en revanche être intéressante à déployer à l'échelle de certains lots. En particulier sur les petits lots.

3.3.4 Contexte réglementaire

Code minier

La géothermie est classée par le **code minier** sous plusieurs catégories dites :

- Géothermie haute énergie : exploitation des gîtes dont la température de leurs eaux, mesurée en surface est supérieure à 150°C ;
- Géothermie de basse température : exploitation des gîtes dont la température de leurs eaux, mesurée en surface est inférieure ou égale à 150°C. Les forages associés ont une profondeur inférieure à 1000 m ;
- Géothermie de minime importance : géothermie basse température mais se distingue par des technologies et des moyens plus légers mis en œuvre pour exploiter la ressource thermique. Les critères de la géothermie de minime importance sont définis dans le paragraphe II de l'article 3 du décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié. Les conditions de mise en œuvre sont précisées dans le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains.
- Géothermie de surface : située à moins de 10 mètres de profondeur. Les installations répondent aux conditions de l'article 2 du décret n° 78-498 du 28 mars 1978 modifié.

Géothermie de minime importance (GMI)

Une installation est considérée comme une installation géothermique de minime importance si elle respecte les contraintes suivantes :

- **Pour les systèmes fermés (i.e sondes) :**
 - La profondeur du forage est comprise entre 10 et 200 mètres ;
 - La puissance thermique maximale prélevée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW ;

- La température du fluide caloporteur dans les sondes (boucle fermée) doit être comprise entre -3°C et $+40^{\circ}\text{C}$;
- Les échangeurs ne sont pas situés en zone rouge comme présenté dans la cartographie ci-dessous définie par l'arrêté du 25 juin 2015 relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, distinguant trois types de zones.

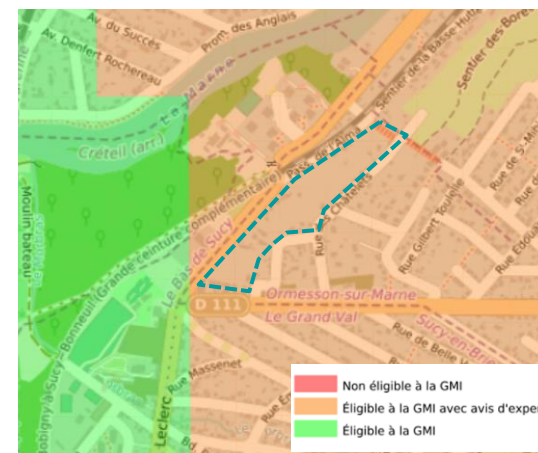


Figure 26 : Zones réglementaires GMI pour les échangeurs fermés de 50 à 200m



Figure 27 : Zones réglementaires GMI pour les échangeurs fermés de 10 à 50 m

■ **Pour les systèmes ouverts (i.e sur nappe) :**

- La profondeur du forage est comprise entre 10 et 200 mètres ;
- La puissance thermique maximale prélevée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW ;
- Les débits prélevés ou réinjectés sont inférieurs au seuil d'autorisation fixé à la rubrique 5.1.1.0 de l'article R. 214-1 du code de l'environnement, soit 80 m3/h ;
- La température de l'eau prélevée en sortie des ouvrages de prélèvement est inférieure à 25 °C.



Figure 28 : Zones réglementaires GMI pour les échangeurs ouverts jusqu'à 200m

Les gîtes géothermiques de basse température concernés par le régime de la minime importance tel que défini ci-dessus, doivent faire l'objet d'une télédéclaration sur le site internet suivant :

<https://www.geothermie.developpement-durable.gouv.fr/>

L'ensemble du périmètre du projet est situé en zone verte pour la géothermie par échangeurs ouverts (géothermie sur nappe) jusqu'à 200 mètres. Pour les échnageurs fermés en revanche (géothermie sur sonde), seul les sondes jusqu'à 50 mètres sont de manière certaines dans le seuil GMI. Au-delà de ces 50 mètres l'avis d'un expert est nécessaire pour définir si oui ou non les installations rentrent dans le cadre de la GMI.

Géothermie hors minime importance

Si le projet est considéré hors géothermie de minime importance le dossier de demande d'autorisation devra contenir notamment :

- Une étude d'impact ou la mise à jour du volet géothermie de l'étude d'impact déjà existante
- Un document de sécurité et santé
- Les conditions d'arrêt des travaux
- L'évaluation des impacts sur la ressource en eau

La demande d'autorisation s'accompagne d'une enquête publique d'une durée de 1 mois. La décision est ensuite délivrée par arrêté préfectoral.

Il est à noter que le dépôt et l'instruction des permis de construire sont décorrélés du dépôt et de l'instruction des demandes d'autorisation au titre du code minier.

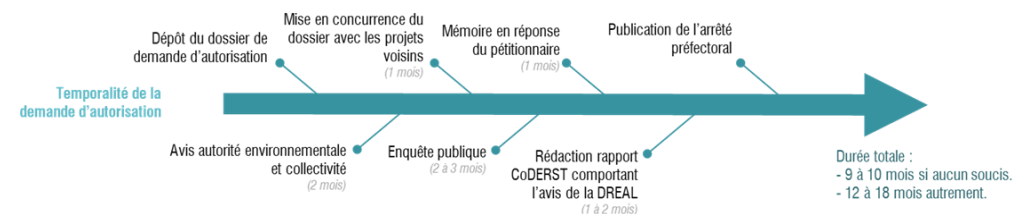


Figure 29 : Temporalité de la demande d'autorisation au titre du code minier

3.4 Aérothermie

Le principe de l'aérothermie est de capter les calories dans l'air extérieur pour assurer la couverture des besoins de chaleur.

Afin d'utiliser les calories présentes dans l'air, la mise en œuvre d'une pompe à chaleur (PAC) est nécessaire.

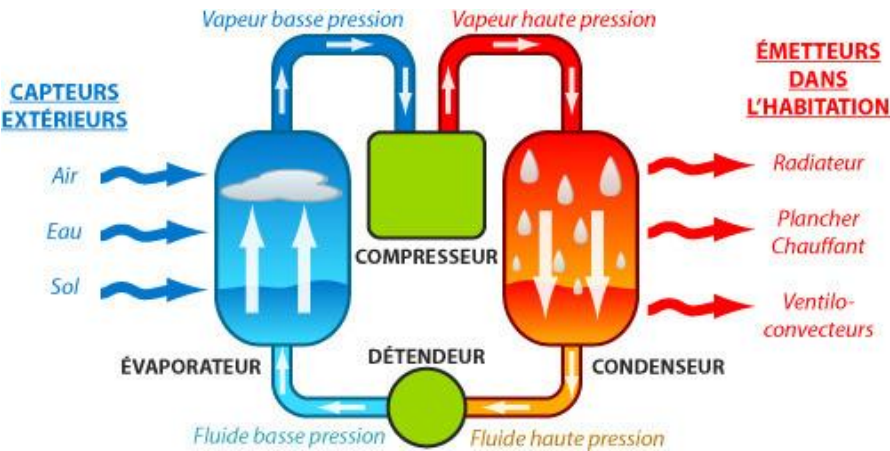


Figure 30 : Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur

Les performances des PAC sont caractérisées par leur COP (Coefficient de performance) qui correspond à leur rendement. Il caractérise la relation entre les calories produites et l'énergie électrique utilisée (celle qui est facturée) pour un système de chauffage. Le COP d'une pompe à chaleur à air se situe généralement aux environs de 3.

Pour bénéficier d'un COP élevé, il faut que l'écart, entre la température de la source de chaleur captée par la PAC et la température de sortie, soit minime. Ainsi, pour améliorer le rendement d'une PAC, il est donc préconisé d'utiliser des émetteurs à chaleur douce (plancher chauffant, radiateur chaleur douce) au lieu de radiateurs haute température.

Il existe deux types de pompes à chaleur aérothermique :

- Les PAC air/air : les calories de l'air extérieur sont propulsées directement dans l'air ambiant de l'habitation (ventilo-convecteur).
- Les PAC air/eau : les calories de l'air extérieur sont injectées dans le réseau d'eau chaude (radiateurs, planchers chauffants, ...) de l'habitation.

Les PAC peuvent être utilisées pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire lorsqu'elles sont doubles services et également utilisées pour la production de froid. On parle alors de PAC réversible.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Aérothermie	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none">- Utilisation des calories présentes dans l'air- Faible consommation d'énergie électrique- Pas d'émissions directes de polluant atmosphériques	<ul style="list-style-type: none">- Rendement moins élevé que la géothermie- Rendement diminué lorsque les températures extérieures sont trop basses- Systèmes techniques à placer en extérieur

L'utilisation de l'aérothermie est adapté au projet. Il est conseillé de privilégier des PAC possédant un COP d'au moins 3. La performance minimale des PAC aérothermiques n'étant atteinte que pour les températures supérieures à 5°C.

3.5 Les énergies de récupération

La récupération de chaleur sur eaux grises

La récupération d'énergie via les eaux grises consiste à préchauffer l'eau froide destinée à l'ECS par un échange thermique avec les eaux grises évacuées. Ce dispositif est particulièrement adapté aux logements collectifs avec une production centralisée de l'ECS.

Différents systèmes permettent la récupération des eaux grises :

- La **technologie type « Power-Pipe »** permettant par exemple de raccorder la plomberie de quatre appartements ou condominiums à un seul système qui récupère la chaleur de l'eau chaude issue des douches pour préchauffer simultanément l'eau du réseau. Cette technologie est adaptée pour les bâtiments collectifs d'un ou plusieurs étages, elle permet de récupérer jusqu'à 60 % de l'énergie évacuée. **Ce dispositif permet par ailleurs une réduction de 20 à 30 % sur les consommations d'ECS.**
Ce dispositif possède un temps de retour sur investissement d'environ 8 ans, suivant les contraintes et les caractéristiques des projets.

- Le **système Biofluides ERS** permet également de récupérer la chaleur des eaux grises des bâtiments de taille significative ou ayant une forte consommation d'eau.
Les eaux usées arrivent dans une cuve centrale. À l'intérieur de cette cuve sont placés des échangeurs dans lesquels circule un fluide caloporteur. Le filtre retient les plus grosses particules dans la cuve et une pompe déverse quotidiennement les résidus accumulés dans la cuve vers le collecteur. Les calories captées sont dirigées vers la pompe à chaleur qui produit de l'eau chaude sanitaire à 58°C. Cette eau chaude sanitaire est ensuite acheminée vers le ballon de stockage.
Il faut compter environ 1500 euros par logement. Le système Biofluides ERS est éligible au Fond Chaleur de l'ADEME (jusqu'à 40%) et permettrait de faire une économie de 30 euros par mois sur la facture de chaque logement.

Ces systèmes sont particulièrement adaptés pour les logements collectifs et présentent donc un intérêt pour le projet. La solution « Power-Pipe » est davantage adaptée aux logements intermédiaires. Le système Biofluides ERS permet plutôt, quant à lui, de mettre en place une récupération de chaleur sur les bâtiments de logements collectifs présentant une plus grande consommation d'eau.

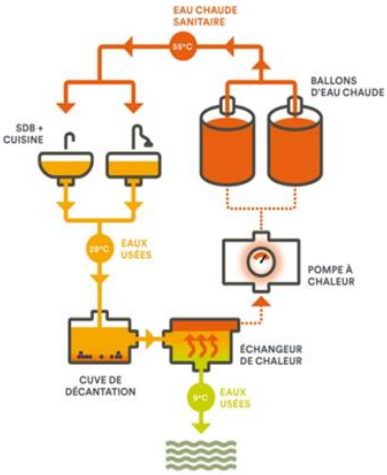


Figure 31 : Système de récupération de chaleur sur eaux grises Biofluides ERS

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Récupération d'énergie sur eaux grises	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none">- Système passif et simple d'entretien- A minima 20 % de réduction des consommations nécessaires pour couvrir les besoins en ECS	<ul style="list-style-type: none">- Diminue la densité énergétique en cas de raccordement complémentaire à un réseau de chaleur- Nécessite 2 réseaux (séparation des réseaux eaux vannes et eaux grises).

La récupération d'énergie sur eaux usées urbaines

Lors de leur évacuation, les eaux usées ont une température moyenne comprise entre 10 °C et 20 °C (selon la région considérée et les saisons). Issues principalement des cuisines, salles de bains, lave-linge et lave-vaisselle, les calories des eaux usées peuvent être utilisées pour le chauffage ou le refroidissement des bâtiments. Fonctionnant sur le même principe qu'une VMC double flux pour l'air, un échangeur thermique permet de récupérer les calories dans les canalisations d'évacuation et de les transférer aux bâtiments via une pompe à chaleur.

Par ailleurs, le système est réversible. Il permet de rafraîchir les bâtiments en été lorsque la température des eaux usées est inférieure à la température intérieure des bâtiments.

Cette énergie possède différentes contraintes : le collecteur doit avoir un important diamètre, il doit être linéaire et non coudé sur une longueur suffisante et doit disposer d'un débit d'eaux usées suffisant. Il faut également vérifier les conséquences sur le fonctionnement de la STEP et le processus d'épuration, qui peut être perturbé par l'abaissement de la température en sortie de l'échangeur. Cette technologie peut alimenter un réseau de chaleur ou des bâtiments individuellement. Les utilisateurs de la chaleur doivent être à proximité du réseau d'eaux usées. Pour une optimisation optimale, les circuits de chauffage et d'ECS doivent être en basse température. Quant à l'échangeur, il dispose d'une durée de vie de 30 ans.

La récupération de chaleur dans les réseaux d'eaux usées peut se faire grâce à un échangeur intégré au sein de la canalisation, ou grâce à un échangeur déporté.

○ Réalisation d'un échangeur thermique intégré au réseau

L'échangeur peut être soit ajouté dans les canalisations existantes, soit directement intégrés dans les canalisations neuves lors de leur fabrication. Sur de l'existant, la fixation de l'échangeur au radier du collecteur entraîne une perte de section et une modification du profil hydraulique.

Les conditions minimales nécessaires à la mise en place de ce type de solution énergétique sont :

- Un débit supérieur ou égal à 12 L/s, soit un bassin versant amont d'environ 8 000 habitants,
- Une distance entre le réseau d'eaux usées et les locaux à chauffer limitée à 200 - 300 m,
- Pour les réseaux existants, un diamètre de collecteur supérieur ou égal à 800 mm,
- Pour les réseaux neufs, un diamètre de collecteur supérieur ou égal à 400 mm.

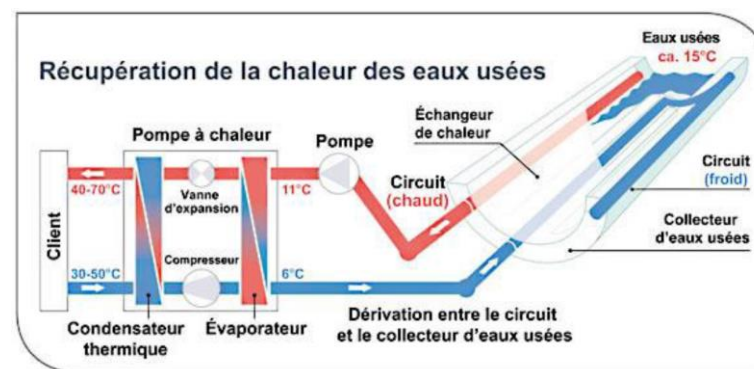


Figure 32 : Exemple de principe de récupération de la chaleur des eaux usées - Véolia



Figure 33 : Ajout de l'échangeur dans les canalisations existantes et échangeurs intégrés dans le neuf

○ Réalisation d'un échangeur déporté (ex-situ)

Une configuration déportée dispose de plusieurs avantages : l'indépendance à la géométrie du collecteur, une performance thermique optimale et une meilleure accessibilité pour la maintenance. De plus, cette configuration ne perturbe pas le bon fonctionnement du système d'assainissement.

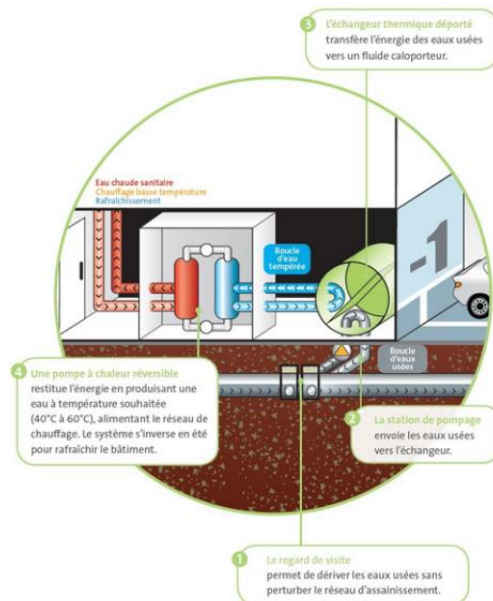


Figure 34 : Exemple de récupération de chaleur sur un collecteur avec échangeur déporté - Véolia

La connaissance de l'état actuel des réseaux et la présence ou non d'un collecteur unitaire au sein du quartier ou à proximité directe pourra permettre d'évaluer précisément les potentiels de récupération, en prenant en compte le débit mesuré dans le ou les éventuels réseaux présents.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Récupération d'énergie sur eaux usées urbaines	Quartier	- Récupération d'énergie fatale	- Solution ne pouvant être mise en place en cas d'absence d'un réseau et débits adaptés - Echangeur intégré aux réseaux : solution complexe à mettre en œuvre

Le débit d'eaux usées généré par le projet n'est pas suffisant pour déployer cette solution.

La récupération de chaleur sur groupe froid

En cas de besoins de froid spécifiques (serveurs informatiques, stockage réfrigéré), il est possible d'envisager une synergie entre l'évacuation de la chaleur produite par les groupes froid et le besoin de chaleur pour l'ECS des logements.



Figure 35 : Exemple de système de récupération d'énergie sur groupe froid - Ridet Energie

La récupération d'énergie sur les groupes froids permet à la fois d'améliorer le rendement des groupes froid (dispersion de la chaleur plus facile dans l'eau que dans l'air, surtout en été lorsque l'air est à 30 °C ou plus) et de bénéficier d'un préchauffage de l'ECS gratuit, ce qui peut permettre de réduire au mieux de 30 % les besoins d'ECS.

Cela implique néanmoins une proximité immédiate entre les besoins de froid et les besoins d'ECS.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Récupération d'énergie sur groupe froid	Ilôt	<ul style="list-style-type: none">- Synergie entre groupe froid et production d'ECS- Amélioration du rendement des groupes froid- Préchauffage de l'ECS	<ul style="list-style-type: none">- Proximité immédiate des besoins de froid et d'ECS- Couverture des besoins dépendants des besoins en froid des activités- Non applicable à la majorité de la programmation du projet

La faisabilité de cette solution est fonction de la programmation, de la présence de bâtiments mêlant habitation et activités et dépend des besoins en froid des activités. Cette solution pourrait être adaptée pour les lots A et B qui mêlent commerces et logements.

Récupération de chaleur fatale sur les datacenters

Les datacenters sont des sites physiques qui hébergent les systèmes nécessaires au fonctionnement d'applications informatiques. Ils permettent de stocker et de traiter des données et sont constitués de composants informatiques (comme les serveurs et les éléments de stockage) et d'éléments non informatiques (comme les systèmes de refroidissement aussi appelés groupes froid). Abritant ainsi une forte densité d'équipements informatiques, leur demande est constituée à la fois d'électricité, mais surtout d'évacuation de la chaleur. La chaleur fatale rejetée par le data center peut atteindre 18° à 25°C. Lors de mise en place d'un système de récupération de la chaleur fatale, une pompe l'achemine vers le réseau urbain. Pour assurer le chauffage des bâtiments et de l'eau de la ville, sa température est poussée à 70°C grâce à une pompe à chaleur.

L'ADEME subventionne les projets mettant en œuvre la récupération de chaleur fatale via le financement Fonds Chaleur.

Aucun data center n'est présent à proximité de la commune.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Récupération de chaleur fatale sur datacenters	Ilôt	<ul style="list-style-type: none">- Synergie entre datacenters et production de chaleur- Récupération d'énergie fatale- Aides de l'ADEME pour financer les projets	<ul style="list-style-type: none">- Pas de datacenter

Aucun data-center n'étant présent à proximité, cette solution n'est pas pertinente pour le projet

Chaudière numérique

Il est possible de réduire les consommations d’eau chaude sanitaire en mettant en œuvre une « chaudière numérique ». Cette solution très innovante, s’avère être simple et responsable, car elle valorise l’énergie fatale dégagée par des serveurs informatiques pour préchauffer l’eau chaude sanitaire à hauteur de 50%.

La société NEUTRAL-IT, qui commercialise le produit, se préoccupe donc d’héberger des données sur disques durs dans une « boîte » à l’intérieur même de la chaufferie. La chaleur ainsi dégagée est récupérée et acheminée vers un ballon de stockage.

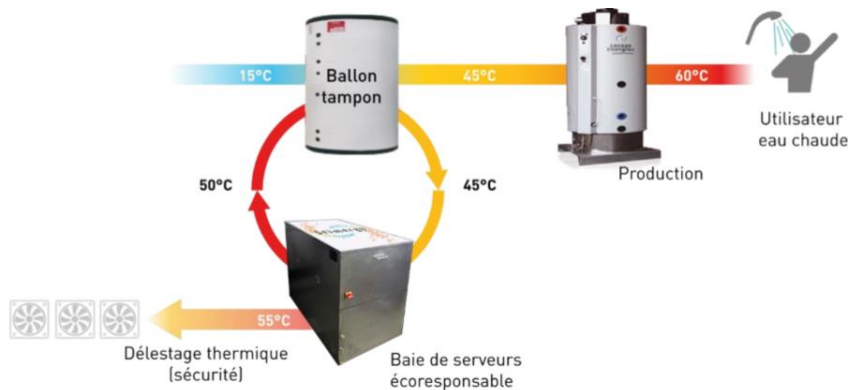


Figure 36 : Schéma de principe de la chaudière numérique

La sécurité et la maintenance de l’installation sont assurées par la société en direct. Le réseau secondaire, en sortie de chaufferie est traditionnel avec une distribution des logements via les gaines techniques, avec individualisation des charges. Ainsi, à l’image d’un réseau de chaleur, la chaudière numérique offre l’avantage de fournir une quantité de chaleur annuelle garantie de manière contractuelle par la société.

Les prérequis pour l’installation de cette solution sont :

- Un local aux normes chaufferie

- Une hauteur sous plafond minimum de 2.20m
- Un préparateur ballon ECS pour collectif
- Un système de ventilation haute et basse
- Une résistance au sol supérieure à 500Kg/m²
- Une arrivée hydraulique pour connecter l’échangeur
- Une arrivée électrique depuis un point de livraison dédié à la salle serveurs
- Un lieu d’implantation éligible à la fibre et une réservation câblage pour la fibre numérique

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Chaudière numérique	Ilot	<ul style="list-style-type: none">- Synergie entre groupe froid et production d'ECS- Amélioration du rendement des groupes froid- Préchauffage de l'ECS	<ul style="list-style-type: none">- Proximité immédiate des besoins de froid et d'ECS- Couverture des besoins dépendants des besoins en froid des activités- Non applicable à la programmation du projet

Cette solution est particulièrement intéressante pour réduire la consommation en ECS, qui est indépendante de la performance du bâti. Compte tenu des besoins important en ECS sur le projet, cette solution est pertinente.

3.6 La biomasse

Ressource

Le bois énergie est la source renouvelable la plus utilisée en France. Les solutions techniques ont fortement évolué, ce qui a eu pour conséquence l'automatisation des chaudières fonctionnant à la plaquette forestière ou aux granulés ainsi que l'amélioration des performances énergétiques et environnementale des systèmes.

Les perspectives de développement du bois énergie sont importantes et la montée en puissance rapide des projets de chaufferie biomasse sur le territoire pose la question de la capacité de la filière à alimenter les nouveaux projets dans la durée. L'essor de la filière doit être accompagné par une maîtrise de la conception des systèmes mis en place à cause du risque de dégradation de la qualité de l'air lors de la mise en place d'équipements non performants.

Deux scénarios tendanciels ont également été analysés à l'horizon 2035 :

- Un scénario de sylviculture constante, qui correspond à un scénario de base simulant un maintien des pratiques actuelles de gestion (les taux de coupe observés sur la période 2005 – 2013 sont appliqués sur la période 2016 – 2035) ;
- Un scénario de dynamisation progressive de la gestion forestière. L'hypothèse retenue consiste à intensifier globalement la gestion forestière en généralisant progressivement les pratiques identifiées comme les plus dynamiques.

Un schéma régional biomasse est en cours pour dresser un état des lieux plus précis de la filière. Les tendances démontrent que la ressource est disponible.

BO bois d'œuvre BIBE bois industrie bois énergie MB menu bois	Scenario de sylviculture constante				Scenario dynamique progressif			
	Disponibilité technico-économique		Disponibilité supplémentaire		Disponibilité technico-économique		Disponibilité supplémentaire	
	BO-BIBE	MB	BO-BIBE	MB	BO-BIBE	MB	BO-BIBE	MB
Feuillus	979 000	80 000	243 000	77 000	1 282 000	100 000	548 000	96 000
Résineux	72 000	19 000	18 000	18 000	109 000	26 000	55 000	26 000
TOTAL	1 051 000	99 000	261 000	95 000	1 391 000	126 000	603 000	122 000

Figure 37 : Disponibilités technico-économiques et supplémentaires par type de produits et d'essences en 2031-2035 en Ile-de-France en m3/an (source : ign, fcba 2016)

Equipement collectif

Dans le cas d'installations à grand échelle (logements collectifs ou quartiers), lorsque la puissance de chaud est supérieure à 200 kW, il devient nécessaire d'adopter le principe de la bi-énergie et de sous-dimensionner les chaudières bois. Ce procédé consiste à mettre en cascade la chaudière bois avec une autre technologie productrice de chaleur, qui va jouer le rôle d'appoint et de secours. Ce montage intervient pour deux raisons :

- Le dimensionnement d'une chaudière se base sur les conditions empiriques (températures extrêmes en hiver et appel maximal de puissance simultanément dans tous les locaux). Or ces conditions sont réunies deux à trois fois par an. Il ne devient donc pas pertinent d'investir pour une forte puissance de chaudière bois alors que la capacité totale ne serait utilisée que pour des périodes très ponctuelles.
- Ce montage permet de faire fonctionner la chaudière bois à pleine charge le plus longtemps possible, ce qui implique un meilleur rendement et une plus longue durée de vie. Ainsi, l'appoint est actif lors des pics de consommation ou lorsque les besoins en chaleur sont très faibles (en effet la chaudière bois se dégrade également en sous-régime).

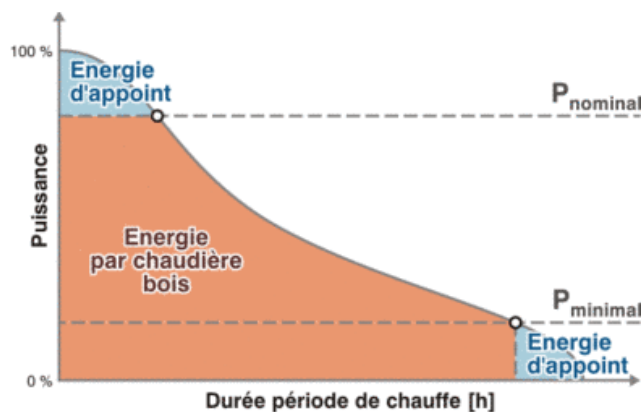


Figure 38 : Courbe d'appel de puissance chaudière bois

Ce dimensionnement, qui s'effectue sur la base d'une courbe d'appel de puissance mois par mois, permet à l'énergie bois de couvrir 80% des besoins de chauffage et ECS avec seulement 50% de la puissance maximale appelée. Ainsi, la chaudière bois est utilisée au maximum de son rendement et l'appoint assure le complément pour les jours les plus froids. Les principaux organes d'une telle installation sont le silo qui permet le stockage du bois, le convoyeur qui achemine le bois (avec une vis sans fin ou un tapis), la chaudière bois qui est le foyer de la combustion, et enfin un système d'épuration des rejets gazeux et d'évacuation des cendres.

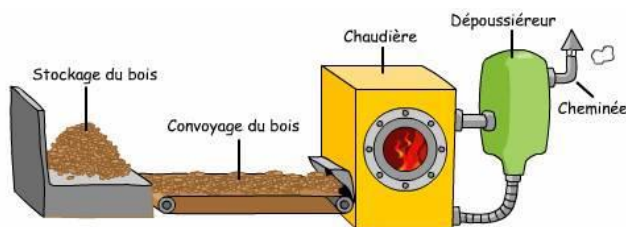


Figure 39 : Segments composant une chaudière bois

Le dimensionnement de la puissance d'une solution énergie bois est également essentiel pour assurer une bonne combustion du bois et une réduction des polluants nocifs pour la santé (particules fines, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, monoxyde de carbone, composés organiques volatils, oxyde d'azote). Les installations à fortes puissances (chaudières collectives, chauffage urbain) ont des conditions de combustions plus favorables et sont donc souvent moins émettrices de polluants que les chaudières bois-énergie individuelles. La conception doit être étudiée soigneusement, et toutes les questions nécessaires pour développer une chaufferie fonctionnelle doivent être posées et résolues en amont du projet. En effet, la reprise des erreurs après la mise en service des chaudières est très complexe et extrêmement coûteuse. Ainsi quelques règles doivent être respectées :

Le silo :

La capacité d'un silo doit être dimensionnée par rapport aux besoins de chaque opération. Compte tenu des pertes inévitables dans les angles du silo, du fait qu'un silo n'est jamais rempli en totalité et que l'on n'attend jamais l'épuisement du combustible pour commander une livraison, un coefficient de remplissage de 60 % semble approprié. Ainsi, le volume utile d'un silo de 100 m³ n'est que de 60 m³. Le dimensionnement du silo doit être prévu pour des volumes utiles permettant des livraisons soit de 30 m³, soit de 60 m³ ou de 100 m³, ce qui correspond au volume de livraison habituel des camions standard. L'accès au silo est la problématique la plus rencontrée dans les défauts de conception. L'accès des camions doit être mûrement planifié :

- Quel type de camions va venir livrer ?
- Est-ce que le camion peut manœuvrer facilement ?
- La trappe de livraison est-elle suffisamment dimensionnée ? (optimal 3m x 2m)
- Le camion peut-il benner sans difficulté ? (Débord de toiture, gouttières, muret à proximité, etc.)

- Que se passe-t-il en cas de conditions météorologiques défavorables ? (neige, vent, etc.)

Le lien entre le silo et la chaufferie est également indissociable et l'implantation sera déterminée par les conditions d'accès, la configuration du bâtiment et le terrain. Une bonne implantation est la condition de réussite du projet. Dans le cadre du déversement des plaquettes, les principales configurations sont les suivantes :

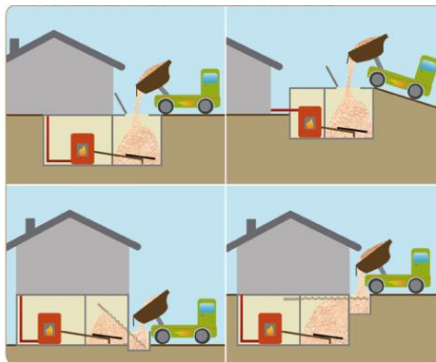


Figure 40 : Possibilité d'implantation pour les chaudières moyennes et grandes puissances

Pour le soufflage des granulés, le silo doit de préférence être accolé à un mur extérieur dans lequel seront fixés les embouts de remplissage. En raison de la longueur de flexible limitée, le silo doit être éloigné au maximum de 30 mètres du point de remplissage.

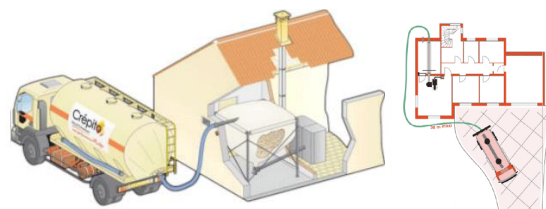


Figure 41 : Caractéristiques du soufflage de granulés

La chaufferie :

La chaufferie doit avoir une surface nécessaire pour prendre en compte l'encombrement de la chaudière mais également les dégagements obligatoires pour assurer l'exploitation et la maintenance des installations :

L'accès à la chaufferie est aussi un paramètre important, qui mal pensé, peut devenir une difficulté majeure. L'évacuation des cendres est un exemple de problèmes que l'on rencontre résultant d'une mauvaise conception : il est très délicat de sortir un bac à cendre de 30 kg sur roulette par une rampe d'escalier (cas d'une chaufferie en sous-sol). De même une rampe d'accès non couverte peut rapidement devenir impraticable en cas de chute de neige. Les eaux de ruissellement doivent être traitées avec la plus grande attention pour qu'elles ne prennent pas directement le chemin de la chaufferie. Comme pour le silo, il convient de bien maîtriser ces éléments en amont et de se mettre à la place de l'exploitant qui assurera le suivi au quotidien.



Figure 42 : Exemple de chaufferie biomasse – Ecole Polytech, Nantes - Vizea

Un réseau de chaleur Bois-énergie à l'échelle quartier

En cas de mise en place d'un réseau de chaleur à l'échelle du quartier, l'utilisation de la ressource bois-énergie est possible pour alimenter ce réseau de chaleur.

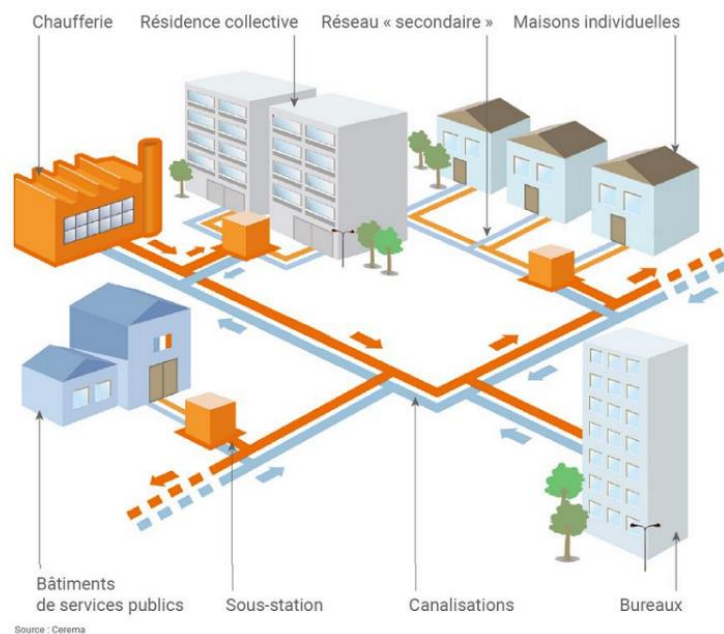


Figure 43 : Principe de fonctionnement d'une chaufferie et de son réseau de chaleur

L'investissement pour une chaufferie bois étant assez importante, il est opportun de mutualiser les équipements en raccordant différents bâtiments à travers un réseau de chaleur. La densité énergétique doit être optimisée en raccordant un maximum de besoins de chaud sur une distance de réseau la plus faible. Au regard de la densité moyenne du réseau de chaleur cette solution pourrait être peu avantageuse économiquement.

Un équipement collectif implique une consommation relativement importante et donc un approvisionnement en combustible en conséquence. Un équilibre est à trouver entre la place dédiée au stockage de combustible et la fréquence de livraison du bois.

Le bois énergie, et en priorité la plaquette forestière, peut donc être utilisé comme ressource principale d'un réseau de chaleur. **Compte tenu de la puissance de**

chaud nécessaire (supérieur à 1MW), il est nécessaire d'avoir un bâtiment dédié pour la chaufferie, ce qui constitue une contrainte foncière primordiale.

Le réseau de chaleur présente l'avantage de disposer d'une seule installation à suivre. Ainsi, les gestionnaires des bâtiments sont déchargés de l'exploitation du réseau primaire (réseau qui va de la chaufferie jusqu'à l'échangeur de chaleur dans le bâtiment), et se contentent seulement d'acheter la chaleur consommée.

Des sous-stations avec un échangeur de chaleur sont placées à chaque entrée de bâtiment. Elles représentent l'équivalent d'une chaudière sur le bâtiment considéré. Les moyens de production étant délocalisés, elles nécessitent qu'une très faible emprise foncière.

L'implantation d'une chaufferie est contraignante en terme d'emprise au sol dans le cadre du projet. Des installations de taille plus modestes intégrées directement en sous-sol des bâtiments collectifs peuvent cependant permettre d'alimenter un réseau de chaleur.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Bois énergie	Bâtiment / Quartier	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilité de massifier le taux d'énergies renouvelables - Données environnementales bonnes 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite une structuration de la filière en amont pour d'importants approvisionnements - Nécessite d'intégrer les contraintes d'implantation, de disponibilité de foncier, de stockage et d'accès dès la conception - Nécessité d'anticiper et prévoir les accès de livraison adapté

Des équipements individuels pour les maisons ou les bâtiments de logements collectifs

• Chaudière biomasse

Le bois énergie peut également être utilisé de manière individuelle via une chaudière bois. Ces chaudières bois permettent une alimentation automatique en combustible depuis le stockage, mais cela implique d'avoir l'espace nécessaire. Le bois peut être utilisé aussi bien en granulés qu'en plaquettes forestières. Ce choix a néanmoins une incidence sur le fonctionnement : le granulé permet pour un même volume de stockage d'avoir une plus grande autonomie, mais le prix en €/kWh est légèrement supérieur. Il s'agit donc de trouver un compromis entre l'emprise dédiée, la simplicité de fonctionnement et les coûts engendrés.



Figure 44 : Chaudière à granulés bois de Vizea

• Poêle à bois

Dans les logements individuels les poêles à bois peuvent également être utilisés pour le chauffage. Ces derniers peuvent utiliser le bois sous forme de bûches, de granulés et de briquettes. Ils peuvent avoir jusqu'à 20kW de puissance et des

rendements pouvant atteindre 90%. Les poêles à granulés sont les plus performants.

• Performance et impact des chaufferies individuelles

L'impact plus grand des chaufferies bois inférieure à 1MW sur la qualité doit être pris en compte. En effet, le chauffage au bois génère des polluants (particules fines, NOx, HAP, COV, ...) dont les quantités peuvent être importantes et dépendent de l'équipement utilisé, de la ressource utilisée et des conditions d'utilisation. Si les installations neuves sont aujourd'hui relativement performantes, les exigences en matière de maîtrise des émissions polluantes restent moins forte sur les équipements ne rentrant pas dans la catégorie des ICPE. Ainsi, dans le cas de chaufferies bois inférieures à 1 MW, il sera important de veiller à la performance des équipements et à la technologie de filtration mis en place.

Pour les petites installations de chauffage biomasse, l'emploi d'appareils labellisés Flamme Verte 7 étoiles permettront de limiter les émissions de polluants et garantir la performance des équipements.

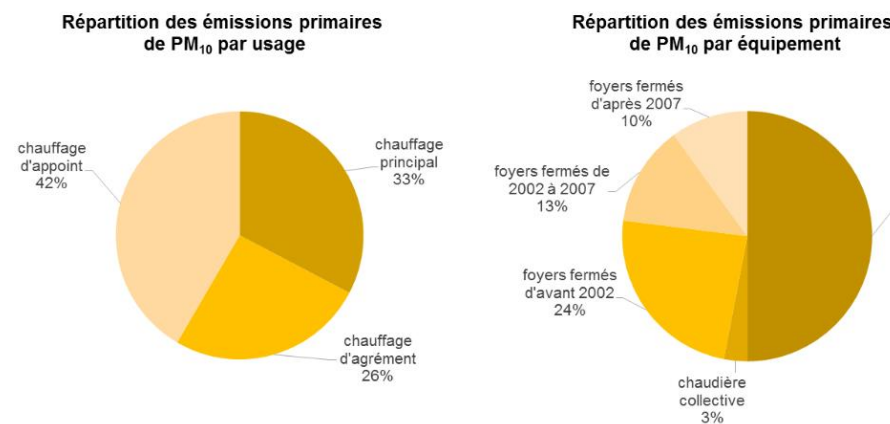


Figure 45 : Contributions aux émissions de PM10 primaires du chauffage au bois résidentiel par usage et équipement en Île-de-France en 2015 – Source : Airparif

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Bois énergie	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> - Recours aux énergies renouvelables - Bonne données environnementales - Ressource bon marché 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite d'intégrer les contraintes de stockage et d'accès dès la conception dans le cas des chaudières - Impact sur la qualité de l'air extérieur - Investissement initial important

Le bois énergie peut être sollicité pour satisfaire les besoins de chaleur en système collectif (échelle lot) ou en réseau de chaleur avec de fortes contraintes foncières et un risque de densité énergétique trop faible pour amortir les investissements. Le choix du bois énergie doit être intégré dès la conception des bâtiments pour que l'intégration des chaudières et la problématique du stockage soient anticipées. Un appoint est également nécessaire.

3.7 La méthanisation et la micro-méthanisation

La méthanisation est un procédé de production de chaleur ou d'électricité par dégradation de matière organique. La matière organique exploitable peut relever des déchets verts, agricoles ou industriels fermentescibles, boues de station d'épuration ou encore la part fermentescible des ordures ménagères.

Cette technique de production d'énergie se relève pertinente dans le cas d'un approvisionnement conséquent de déchets fermentescibles, en milieu agricole, ou dans le cadre d'une réflexion globale sur la stratégie de gestion des déchets.

A titre indicatif, les déchets fermentescibles d'environ **10 000 habitants**, permettent la production de 1 000 MWh de biogaz. **1 000 MWh de biogaz** représentent :

- 400 MWh d'électricité ; soit environ 13 % des besoins en électricité des constructions neuves,
- 450 MWh de chaleur, soit uniquement environ 9 % des besoins en chaleur (chauffage + ECS) des constructions neuves.

De plus, une telle installation nécessite une emprise au sol conséquente, avec :

- 1,25 m²/T de matière traitée annuellement ; soit 225 m² pour environ 180 T/an produites par 10 000 habitants,
- Auquel il faut rajouter 1 m²/T si la maturation du digestat est réalisée sur site et 1,5 m²/T pour le stockage du digestat (1090 tonnes de digestat produits pour le traitement des déchets de 10 000 habitants).

La **petite méthanisation, ou encore micro-méthanisation**, se caractérise par une puissance installée inférieure à 80 kW. La micro-méthanisation est une technologie qui permet la valorisation des biodéchets des zones urbaines en énergie à plus petite échelle. Elle représente donc une opportunité en vue de la généralisation du compostage à tout type d'acteurs d'ici 2025.

Plusieurs entreprises se sont lancées dans le développement de cette technologie. Par exemple, l'entreprise Bee and Co concentre toutes les étapes de méthanisation (en voie humide) et de post-traitement des coproduit dans deux containers maritimes pouvant traiter de 80 à 150 tonnes par an. Le réacteur accepte tous les biodéchets broyés y compris carnés. Il est accompagné d'une zone de stockage du biogaz en partie supérieure destiné à alimenter une chaudière ou une cogénération, mais aussi d'un module de séparation des phases du digestat avec compostage intégré par aération forcée de la partie solide, et le recyclage de la phase liquide pour la dilution des déchets entrants et/ou une ultrafiltration pour produire de l'eau claire de lavage. Ces nouvelles solutions se développent en Ile de France.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Méthanisation	Quartier / Commune	<ul style="list-style-type: none">- Valorisation des déchets- Fonctionnement en co-génération	<ul style="list-style-type: none">- Nécessite une modification de la stratégie de gestion des déchets à l'échelle territoriale- Emprise importante pour l'ensemble du process et création d'un réseau de chaleur- Peut avoir des nuisances pour un cadre de vie urbain et dense (olfactif, circulation camion, ...)- Non adapté au contexte
Micro-méthanisation	Îlot	<ul style="list-style-type: none">- Valorisation des biodéchets à plus petite échelle	<ul style="list-style-type: none">- Solution innovante peu éprouvée

La mise en œuvre d'une solution de méthanisation peut permettre la production simultanée de chaleur et d'électricité. La nécessité de restructuration du processus de gestion des déchets à l'échelle de la commune, couplée à d'éventuelles nuisances olfactive, permettent de conclure en l'inadéquation de cette solution au contexte de l'opération. La microméthanisation présente néanmoins une opportunité de par sa mise en œuvre à échelle plus réduite. Cependant son caractère novateur peut s'avérer une contrainte dans la réalisation.

3.8 L'énergie solaire

Les données estimées par l'outil Cal-Sol de l'Institut National de l'Energie Solaire permettent d'estimer le gisement solaire à 1200 kWh/m²/an pour les zones les plus exposées (sans ombrages), les mieux inclinées (30°) et les mieux orientées (plein sud).

Irradiation sur un plan horizontal en kWh/m ² par jour ○ ou en kWh/m ² cumulés ● SOURCES												
Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc
Globale (IGH)	27	43	89	118	155	168	165	138	101	61	30	22
Directe (IDH)	7	13	39	50	71	80	78	63	47	24	9	6
Diffuse (IDH)	19	29	51	67	84	88	87	74	55	37	21	16
année	1117											

Irradiation sur un plan d'inclinaison 30° et d'orientation 0° COMPARAISONS												
Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc
Directe (IDP)	19	27	58	59	72	75	76	70	65	44	21	18
Diffuse (IDP)	18	27	47	63	79	82	81	69	51	35	20	15
Réfléchie (IRP)	0	1	1	2	2	2	2	1	1	0	0	0
Globale (IGP)	38	54	107	124	152	159	159	141	117	80	41	33
année	1206											

Figure 47 : Estimation de l'irradiation sur un plan d'orientation horizontal ou d'inclinaison 30° - Outil Calsol

Le potentiel de production peut être impacté par les masques solaires, qui correspondent aux ombres enlevant de la lumière solaire et donc l'apport lumineux et calorifique. Ils sont dus à la présence d'arbres, de bâtiments ou de reliefs autour de la toiture. Quel que soit l'endroit où l'on se trouve, la façade exposée au sud ne peut pas toujours bénéficier de soleil toute la journée. Les panneaux solaires installés sur une surface plane doivent comporter une certaine distance de séparation entre les rangées afin d'éviter le chevauchement des ombres des panneaux sur les autres.

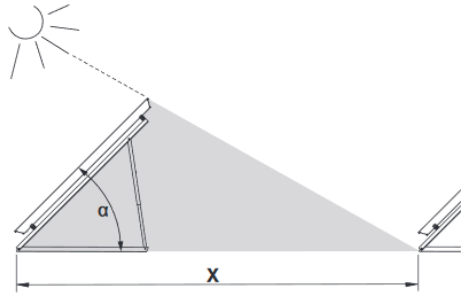


Figure 46 : Principe d'implantation des rangées de panneaux solaires

3.8.1 Le solaire thermique

Les capteurs solaires thermiques permettent de couvrir partiellement les besoins d'ECS des bâtiments.

En période estivale, 90 % à 95 % des besoins énergétiques liés à la production d'ECS peuvent être comblés par cette technique. Ce pourcentage s'avère en revanche nettement moins élevé durant l'hiver avec une production de l'ordre de 15 % à 20 %. Les besoins en ECS des logements étant relativement importants, il est opportun d'installer de tels systèmes sur les toitures de ce type de bâtiment.

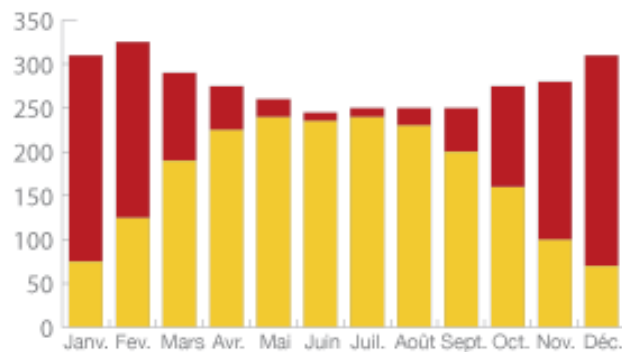


Figure 48 : Couverture type des besoins en ECS par l'énergie solaire

En considérant des panneaux solaires thermiques plans, ayant un rendement de l'ordre de 30 % en moyenne et l'irradiance évaluée de 1 200 kWh/m².an, une **production potentielle de 360 kWh/m².an** est possible sans prise en compte des ombres portées. Dans le cas de capteurs sous vide, ayant un rendement supérieur (environ 35 %), cette production peut en moyenne être estimée à **400 kWh/m².an**.

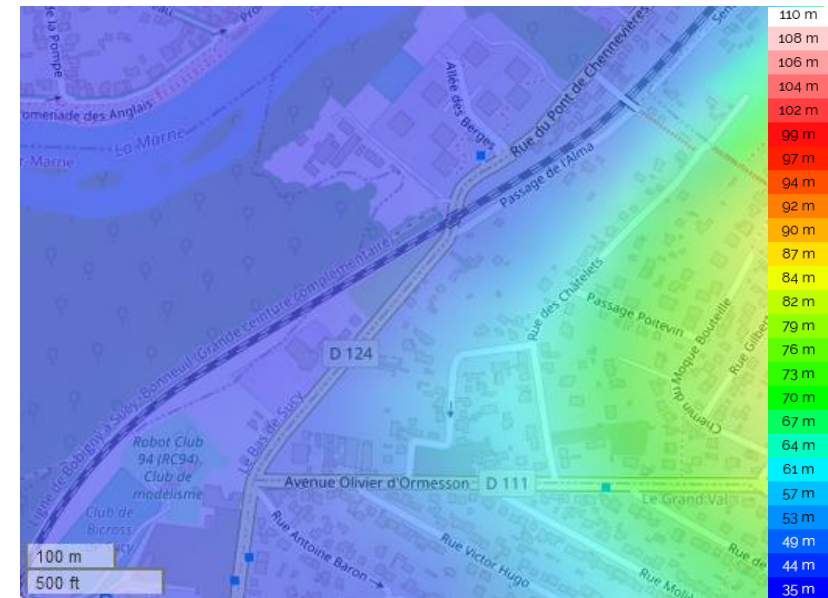
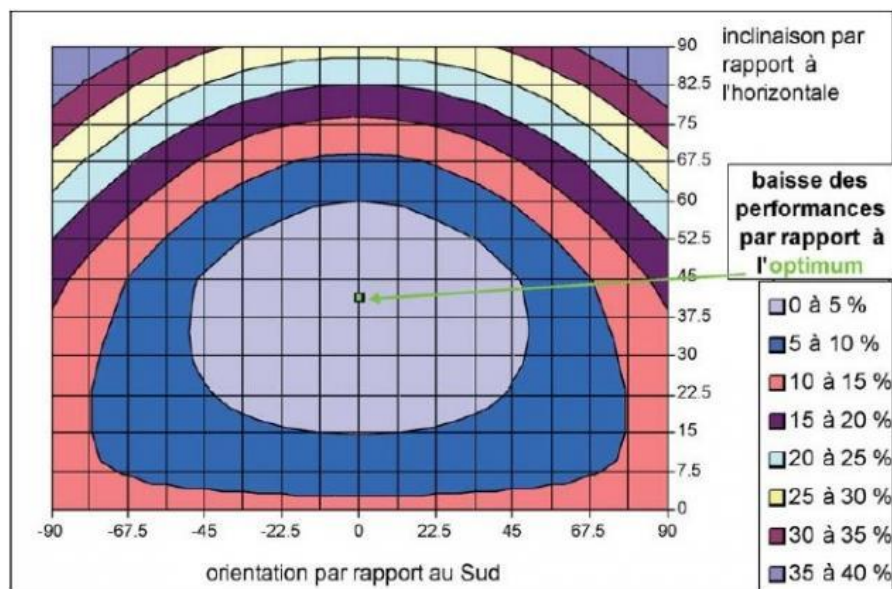


Figure 49 : Topographie du site

L'orientation actuelle des bâtiments et de leur toiture offrent aujourd'hui peu d'orientations plein sud et la topographie est susceptible de générer de l'ombrage ainsi la production potentielle au m² sera plus faible que 360 kWh/m².an. Au-delà de 15° de décalage par rapport au sud dans l'orientation des panneaux les baisses de performance des panneaux peuvent devenir importante. Aujourd'hui du fait de la topographie mais également de l'orientation des bâtiments et des formes des toitures le projet se prête mal à la mise en œuvre de panneaux solaires thermiques.



En s'affranchissant des formes urbaines et architecturales actuelles et en ne considérant que les surfaces de toitures. Avec une orientation et une inclinaison optimale des panneaux en mobilisant 1 400 m² sur environ 11 000 m² de toitures il serait possible de couvrir 30% à 40 % des besoins d'ECS des logements.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Solaire thermique	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> - Couverture possible de 30 à 40 % des besoins d'ECS des logements - Faible coût de l'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage - Nécessité d'adapter les toitures orientation, pente, etc..) - Impose d'avoir une production d'ECS centralisée - Diminue la densité énergétique en cas de réseau de chaleur - Peu de subvention disponible - Des dysfonctionnements parfois observés

Le solaire thermique est adapté pour une programmation qui comprend un nombre important des logements. Toutefois, l'orientation des bâtiments et le choix des toitures sont des éléments déterminants pour la mise en place de cette solution. En l'état actuel du projet, au regard notamment de l'orientation des toitures pentes et de la topographie le solaire thermique est moyennement adaptée au projet. Si cette solution est retenue sur certains bâtiments, une analyse d'ensoleillement sera à mener.

3.8.2 Le solaire photovoltaïque

Une installation photovoltaïque se compose de modules solaires, eux-mêmes constitués de cellules photovoltaïques, généralement conçues à base de silicium. Ces générateurs transforment directement l'énergie solaire en électricité (courant continu). La puissance des panneaux est exprimée en Watt-crête (Wc), unité qui définit la puissance électrique disponible aux bornes du générateur dans des conditions de fonctionnement standards (ensoleillement de 1000W/m² et température de 25°C).

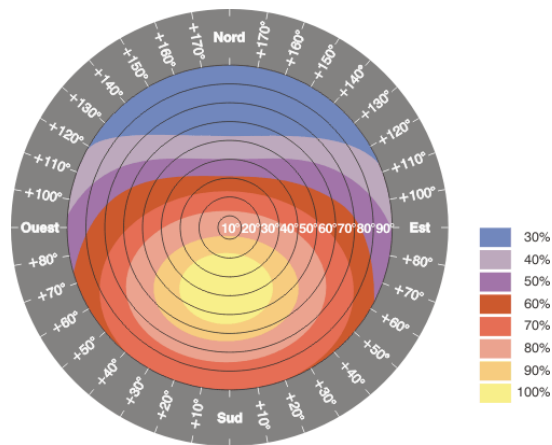


Figure 50 : Influence de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux photovoltaïques

Dans sa configuration actuelle le projet dispose d'une surface de toiture exploitable d'environ 1 200 m² (il est pris pour hypothèse que 10 % de la surface totale des toitures logements est exploitée pour le photovoltaïque). En installant des modules de 350 Wc selon une orientation sud-ouest, il est possible d'obtenir une puissance totale de l'installation de 260 kWc et d'une production de **240 MWh/an**, soit l'équivalent de **26% des besoins d'électricité** du projet. La production est présentée ci-dessous pour une inclinaison de 30° des panneaux par rapport à l'axe horizontal et une orientation Sud-ouest (+50° par rapport au sud).

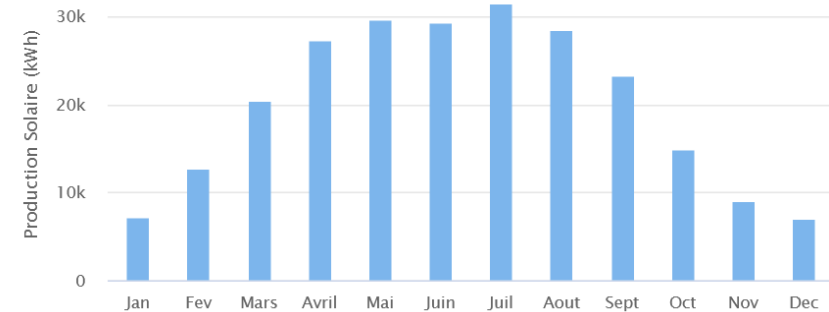


Figure 51 : Répartition de la production photovoltaïque sur une année type

Il est possible d'imaginer une production photovoltaïque autoconsommée pour les logements mais cela implique des montages complexes. En effet, pour le résidentiel, la consommation n'est généralement pas synchronisée avec la production d'électricité qui se fait le jour. Cela nécessite donc une répartition de l'électricité produite de manière équitable et une gestion permettant un tel fonctionnement.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Solaire photovoltaïque	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> - Indépendant des besoins énergétiques (souplesse de déploiement) - Production locale d'électricité renouvelable - Possibilité d'autoconsommation 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage - Investissement et montage juridique à prévoir - Autoconsommation difficile pour les bâtiments d'habitations - Nécessite un travail sur l'orientation des toitures pour optimiser le potentiel solaire

Du fait du décalage entre les pics de production et de consommation électrique le solaire photovoltaïque est peu adapté aux bâtiments d'habitation sans système de stockage. Il est adapté pour les commerces en revanche.

3.8.3 Le solaire hybride

Le solaire hybride relève de l'association de deux technologies solaires : photovoltaïque et thermique, en un seul panneau capable de produire simultanément du chaud et de l'électricité.

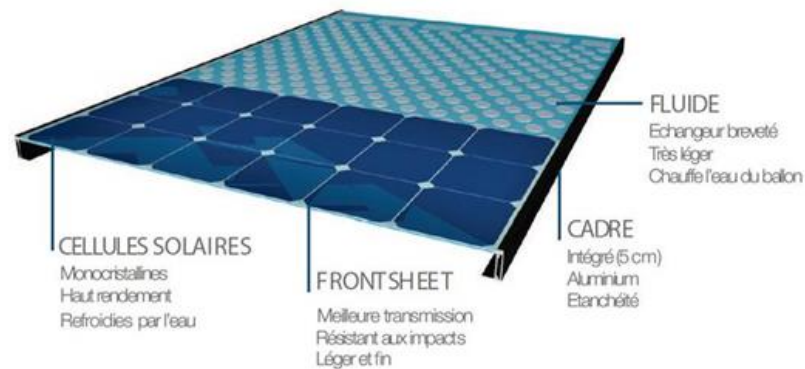


Figure 52 : Schéma de principe du solaire hybride - DualSun

En revanche, la production solaire thermique n'est pas optimisée par rapport à un capteur solaire thermique traditionnel de même taille. Le rayonnement solaire n'est pas direct sur le fluide caloporteur en sous couche. Le fluide caloporteur récupère les déperditions (chaleur) des modules photovoltaïques par convection et conduction.

Ce système est plutôt adapté aux logements, car il permet de couvrir une partie des besoins d'ECS (qu'il est impossible de réduire en phase conception) et une partie des besoins électriques (qui sont très importants).

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Solaire hybride	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> - Couverture d'une partie des besoins d'ECS et production locale d'électricité renouvelable - Possibilité d'autoconsommation - Adapté aux maisons individuelles 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage - Impose d'avoir une production d'ECS centralisée - Nécessité d'avoir des toitures adaptées (pente, orientation) - Diminue la densité énergétique en cas de réseau de chaleur

La production d'ECS par capteurs solaires hybrides présente un intérêt pour les logements avec une toiture disponible orientée vers le sud.

3.9 L'éolien

Les différents dispositifs d'éoliennes permettent de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, transformée alors en électricité grâce à une génératrice.

3.9.1 Le Grand et moyen éolien

D'après le Schéma Régional Eolien d'Ile-de-France approuvé le 28 septembre 2012, la commune de Ormesson-sur-Marne ne fait pas partie des communes susceptibles d'être concernées par le développement de l'éolien.

Le projet se trouve sur une zone défavorable car il multiplie les contraintes et servitudes pour l'implantation d'éoliennes.

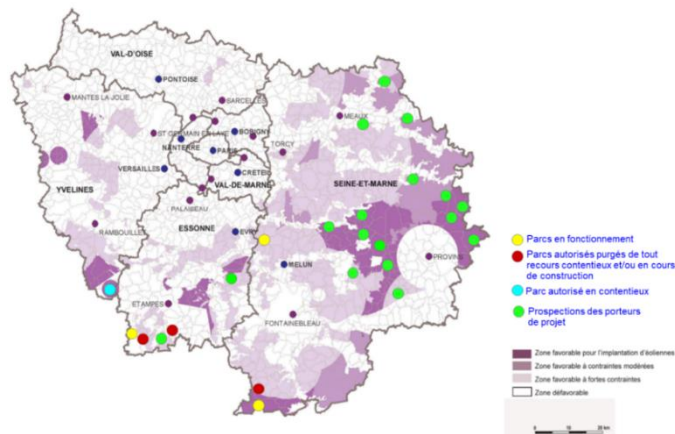


Figure 53 : Perspective de développement de l'éolien en Ile-de-France – Région IDF 26/10/2015

La réglementation ne permet pas d'implanter des éoliennes sur le projet compte tenue de la proximité des habitations.

3.9.2 Le petit éolien : les éoliennes de bâtiment

Le petit éolien n'a, pour l'heure, pas démontré de productivité et de fiabilité intéressante : hauteur du mat et surface productive, rentabilité, production, fragilité. Les machines existantes vont de quelques kW à quelques centaines de kW. Elles subissent une très grande variabilité des vents (turbulences générées par les bâtiments) et peuvent par ailleurs transmettre des vibrations au bâti.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Petit éolien	Bâtiment	- Production locale d'électricité	- Faible potentiel, à évaluer en fonction des corridors de vent créés par la disposition des bâtiments - Investissement difficilement rentabilisé - Nuisances sonores / vibrations

L'utilisation d'éoliennes de bâtiment n'est pas pertinente pour la stratégie énergétique.

4 BILAN ATOUTS-CONTRAINTES

Technologie	Echelle	Besoins	Pertinence	Avantages	Inconvénients
Raccordement au réseau de Sucy-en-Brie	Quartier / commune	Chauffage ECS	Nulle	- Réseau très vertueux basé sur la géothermie	- 2 km de réseau à créer pour se raccorder - Densité énergétique de l'extension du réseau très faible (estimée à 0,6 MWh/ml.an) - Réseau situé sur une autre commune
Création d'un réseau de chaleur	Quartier / commune	Chauffage ECS	Moyenne	- Mutualisation de la production de chaleur - Maîtrise des systèmes énergétiques et des charges pour les futurs habitants - Réduction de la dépendance aux énergies fossiles si réseau vertueux	- Densité énergétique faible - Coût d'investissement pour la création de ce réseau de chaleur - Nécessité de dégager une emprise pour la chaufferie
Géothermie basse énergie (Dogger)	Quartier / commune	Chauffage ECS	Nulle	- Fort potentiel de la ressource (nappe Dogger) sur la zone	- Coûts d'investissements élevés - Puissance du projet trop faible pour cette solution
Géothermie superficielle / très basse énergie sur nappe	Bâtiment/ macro-lot	Chauffage ECS	Forte	- Production de chaud et de froid en géocooling - Ressource disponible permettant de couvrir les besoins de froid et de chaleur	- Nécessite la réalisation d'un forage test pour valider la ressource disponible - Risque d'interférences s'il y a une multiplication de forages
Géothermie sur sonde	Bâtiment	Chauffage ECS	Faible	- Une solution de sondes verticales est plus adaptée à un projet de logements collectifs que des sondes horizontales. - Adapté pour les logements intermédiaires - Solution pertinente à l'échelle d'un seul lot	- Peu pertinent en présence d'une nappe superficielle - Risque d'interférence entre les installations en cas de multiplication des ouvrages - Emprise au sol importante
Récupération de chaleur sur eaux grises	Bâtiment	ECS	Forte	- Système passif et simple d'entretien - A minima 20 % de réduction des consommations nécessaires pour couvrir les besoins en ECS	- Nécessite 2 réseaux (séparation des réseaux eaux vannes et eaux grises)
Récupération de chaleur sur eaux usées	Quartier	Chauffage ECS	Nulle	- Récupération d'énergie fatale	- Solution ne pouvant être mise en place en cas d'absence de réseau adapté - Echangeur intégré aux réseaux : solution complexe à mettre en œuvre
Récupération de chaleur sur groupe froid	Bâtiment	ECS	Faible	- Synergie entre groupe froid et production d'ECS - Amélioration du rendement des groupes froid - Préchauffage de l'ECS	- Proximité immédiate des besoins de froid et d'ECS - Couverture des besoins dépendant des besoins en froid des activités - Applicable à une très faible part du projet
Récupération de chaleur fatale sur datacenters	Ilôt	ECS	Nulle	- Synergie entre datacenters et production de chaleur	- Aucun datacenter à proximité
Bois énergie	Quartier	Chauffage	Moyenne	- Possibilité de massifier le taux d'énergies renouvelables - Données environnementales très bonnes	- Densité du réseau de chaleur à créer peu élevée en cas de raccordement de l'ensemble des bâtiments de l'opération

	Lot	ECS	Forte	- Meilleure maîtrise de l'impact sur la qualité de l'air que dans le cas d'installations individuelles	- Nécessite d'intégrer les contraintes d'implantation, de disponibilité de foncier, de stockage et d'accès dès la conception
		Chauffage		- Implantation de la chaufferie dans un bâtiment possible	- Nécessite d'intégrer les contraintes de stockage et d'accès des camions de livraison dès la conception
		ECS			- A mettre en relation avec les thématiques de qualité de l'air
Méthanisation	Quartier / commune	Chauffage	Nulle	- Valorisation des déchets	- Nécessite modification de la stratégie de gestion des déchets à l'échelle territoriale
		ECS		- Fonctionnement en cogénération	- Emprise importante pour l'ensemble du process et création d'un réseau de chaleur - Peut avoir des nuisances pour un cadre de vie urbain et dense (olfactif, circulation camion, ...)
Microméthanisation	Îlot	Chauffage ECS	Moyenne	- Valorisation des biodéchets à plus petite échelle	- Solution innovante peu éprouvée
Solaire thermique	Bâtiment	ECS	Moyenne	- Couverture possible de 30 % des besoins d'ECS - Faible coût de l'énergie	- Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage - Impose d'avoir une production d'ECS centralisée - Orientation des toitures du projet diminuant les rendements - Diminue la densité énergétique en cas de réseau de chaleur - Peu de subventions disponibles - Des dysfonctionnements parfois observés
Solaire photovoltaïque	Bâtiment	Electricité	Faible	- Indépendant des besoins énergétiques (souplesse de déploiement) - Production locale d'électricité renouvelable - Possibilité d'autoconsommation dans un rayon de 2 km	- Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage - Investissement et montage juridique à prévoir - Autoconsommation difficile pour les bâtiments d'habitations - Nécessite de trouver un délégataire en cas d'autoconsommation déportée - Nécessite un travail sur l'orientation des toitures pour optimiser le potentiel solaire
Solaire hybride	Bâtiment	ECS Electricité	Moyenne	- Couverture d'une partie des besoins en ECS et production locale d'électricité renouvelable - Possibilité d'autoconsommation	- Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage - Impose d'avoir une production d'ECS centralisée - Diminue la densité énergétique en cas de réseau de chaleur - Nécessite un travail sur l'orientation des toitures pour optimiser le potentiel solaire - Plus adapté aux habitations individuelles qu'au collectif
Eolien	Bâtiment	Electricité	Nulle	- Production locale d'électricité	- Site non adapté : Faible potentiel, à évaluer en fonction des corridors de vent créés par la disposition des bâtiments - Investissement difficilement rentabilisé

5 CONSTRUCTION DE LA STRATEGIE ENERGETIQUE

5.1 Scénarios retenus

Les solutions d'approvisionnement en énergie retenues sont présentées ci-dessous :

5.1.1 Scénario de référence

Le scénario de référence consiste en la mise en œuvre à l'échelle de chaque lot d'une installation PAC air/eau double service avec appoint intégrés permettant la couverture de 100 % des besoins en chauffage, ECS et climatisation des bâtiments. Les logements ne sont pas considérés comme climatisés.

Typologie	Système productif	Alimentation des besoins		
		Chauffage	ECS	Froid
Logements	PAC air/eau double service	100%	100%	-
Commerces	PAC air/air et chauffe-eau thermodynamique	100%	100%	100%

Figure 54 : Présentation synthétique du scénario de référence

5.1.2 Scénario création d'une boucle d'eau géothermale sur nappe superficielle

Ce scénario étudie le cas d'une couverture des besoins de chauffage, de froid et d'ECS des lots A, B, C, D, E, F, G, H, J, M et de leurs commerces et commerces par la géothermie sur nappe superficielle. Un doublet géothermique sur nappe superficielle accompagné d'un appoint gaz permet de chauffer une boucle d'eau tempérée. Des PAC installées dans les sous-stations de chaque bâtiment permettent de relever la température pour assurer la couverture des besoins de chauffage, d'ECS et de froid.

L'ensemble des besoins en chauffage et ECS des lots I, K et L sont couverts par des PAC air/eau double service avec appoint intégré mises en œuvre à l'échelle de chaque lot.

Typologie	Système productif	Alimentation des besoins		
		Chauffage	ECS	Froid
Logements des lots A, B, C, D, E, F, G, H, J, M et commerces	Boucle d'eau tempérée géothermale avec appoint gaz	100%	100%	100 %
Logements des lots I, K, L	PAC air/eau double service	100%	100%	-

Figure 55 : Présentation synthétique du scénario géothermie sur nappe superficielle

5.1.1 Scénario création d'un réseau de chaleur biomasse

Le scénario biomasse bois-énergie est étudié car permettant, une optimisation de l'investissement, de la gestion et assurant une uniformité des systèmes d'approvisionnement énergétique pour les besoins de chaud ainsi qu'une meilleure maîtrise de l'impact sur la qualité de l'air, une limitation du trafic des camions de livraison de biomasse sur le périmètre du projet. Toutefois, ce scénario présente des contraintes techniques puisqu'il nécessite de dégager une emprise foncière dans le cadre de la réglementation ICPE.

Le scénario étudié ici est celui d'un raccordement au réseau de chaleur pour la couverture des besoins de chaleur et d'ECS de l'ensemble des bâtiments qui longent la rue du port de Chennevières et le passage de l'Alma ainsi que des logements des lots B, F et D. Cette solution comprend la création d'une chaufferie localisée sur une emprise dédiée au nord du passage de la Varenne.

Les autres logements sont alimentés par des PAC air/eau pour la couverture de leurs besoins de chaleur et d'ECS.

Les besoins de froid des commerces sont couverts par une PAC air/air.

Typologie	Système productif	Alimentation des besoins		
		Chauffage	ECS	Froid
Logements des lots A, B, C, D, E, F, G, H, J, M	<i>Réseau de chaleur biomasse avec appoint gaz</i>	100%	100%	-
Logements des lots I, K, L	<i>PAC air/eau double service</i>	100%	100%	-
Commerces	<i>PAC eau glacée air/eau + RC biomasse</i>	100%	100%	100 %

Figure 56 : Présentation synthétique du scénario raccordement RCU du Blanc-Mesnil

6 ANALYSE TECHNIQUE DES SCENARIOS

6.1 Hypothèses et indicateurs d'analyse

6.1.1 Hypothèses d'analyse

Pour comparer les systèmes, les scénarios et les énergies, les hypothèses suivantes sont prises en compte :

Ressource	Tarification	Coût de l'énergie (€/kWh)	Variation annuelle (%)
Electricité	Domestique	0,16	4,8%
	Entreprise	0,12	5%
	Industriel	0,1	5%
Gaz naturel	Domestique	0,11	7%
	Entreprise/Professionnel	0,088	7%
Bois	Plaquette forestière	0,03	3%
	Granulé en vrac	0,05	3%

Figure 57 - Hypothèses économiques

Ressource	Ratio EP/EF	Emission de GES (g eqCO2/kWh)	Emission de SO2 (g/kWh)	Emissions de Nox (g/kWh)	Déchets nucléaires FMA (g/kWh)	Déchets Nucléaires HA (g/kWh)	% EnR
Gaz	1,1	243	0,0018	0,17	0	0	0,1%
Bois	0,3	0	0,03	0,32	0	0	100,0%
Electricité	2,3	57	0,89	0,47	0,05	0,01	22,7%

Figure 58 : Hypothèses environnementales

6.1.2 Description des indicateurs économiques

Les indicateurs économiques utilisés dans le cadre de l'étude sont les suivants :

- Investissement total (€ TTC) ;
- Subventions comptabilisées dans l'analyse financière (€) ;
- Investissement non subventionné (€ TTC) ;
- Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh) sur 30 ans. Ce coût de l'énergie ne contient ni le coût de l'investissement, ni celui de la maintenance et de l'entretien, il est représenté au niveau des réseaux de chaleur par le tarif R1 ;
- Entretien moyen (€ TTC/MWh) sur 30 ans (compris dans le tarif R2 pour les réseaux de chaleur) ;
- Maintenance moyenne (€ TTC/MWh) sur 30 ans (compris dans le tarif R2 pour les réseaux de chaleur).

6.1.3 Description des indicateurs environnementaux

Les indicateurs environnementaux utilisés dans le cadre de l'étude sont les suivants :

Energie primaire

L'énergie primaire est l'énergie « potentielle » contenue dans les ressources naturelles utilisées par les installations visées (comme le bois, le gaz, le pétrole, etc.), et cela avant toute transformation.

Energie finale

L'énergie finale est l'énergie consommée et facturée à chaque bâtiment, en tenant compte des pertes lors de la production, du transport et de la transformation du combustible. Les besoins énergétiques nets évaluent la quantité d'énergie que devront fournir les différents systèmes de chauffage et de refroidissement afin de garantir le confort thermique et la production d'ECS pour les usagers.

Part d'EnR

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergies dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain.

Emissions de GES

Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants qui contribuent à l'effet de serre de la planète. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est l'un des facteurs d'impact à l'origine du récent réchauffement climatique. Chaque GES ayant un effet différent sur le réchauffement global, cet indicateur est estimé en « équivalent CO₂ » ou « équivalent carbone ».

Emissions de SO₂ et NO_x

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant, notamment pour l'appareil respiratoire, et qui contribue avec les oxydes d'azote (NO_x) et l'ammoniac (NH₃), à la pollution acide. Les rejets de dioxyde de soufre (SO₂) sont dus en grande majorité à l'utilisation de combustibles fossiles soufrés (charbon, lignite, coke de pétrole, fioul lourd, fioul domestique, gazole, etc.).

Les oxydes d'azote (NO_x) regroupent essentiellement deux types de molécules polluantes : le monoxyde d'azote (NO), et le dioxyde d'azote (NO₂). Les NO_x sont des gaz irritants et très nocifs pour la santé humaine, qui pénètrent dans les ramifications les plus fines des voies respiratoires et peuvent provoquer des difficultés respiratoires. Ils participent également à l'eutrophisation des sols et à l'augmentation de l'effet de serre. Ils sont généralement calculés en équivalents NO₂.

6.2 Scénario de référence adapté à la RE2025

Le scénario de référence pour cette étude a été adapté afin de s'inscrire dans les ambitions de le RE2020 à horizon 2025. En effet, celle-ci prévoit d'interdire progressivement l'alimentation en gaz et en fioul pour le chauffage des constructions entre 2021 et 2024.

Ce scénario « classique » d'alimentation, sert de base pour la comparaison avec les autres scénarios en termes de bilan économique et environnemental. Ainsi, **le temps de retour calculé pour les différentes solutions est toujours lié à ce référentiel.**

6.2.1 Description du scénario

Typologie	Système productif	Alimentation des besoins		
		Chauffage	ECS	Froid
Logements	PAC air/eau double service	100%	100%	-
Commerces	PAC air/air et chauffe-eau thermodynamique	100%	100%	100%

Tableau 2 : Description du scénario de référence

Le scénario de référence consiste en la mise en œuvre à l'échelle de chaque lot de **logements d'une installation PAC air/eau** double service avec appoint intégrés permettant la couverture de 100 % des besoins en chauffage, ECS. Les logements ne sont pas considérés comme climatisés.

Les **commerces** sont quant à eux alimentés par des **PAC air/air pour la couverture des besoins de chaleur et de climatisation**. Les besoins d'ECS sont couverts par des **Chauffe-Eau Thermodynamiques (CET)**.

Dans le scénario de référence comme dans les scénarios à suivre, les besoins en électricité de l'ensemble des typologies sont couverts par le **réseau électrique national**.

6.2.2 Résultats économiques

Aucune subvention n'est attribuée par l'ADEME pour les installations considérées dans ce scénario.

Les impacts financiers du scénario de référence sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les investissements sont entièrement portés par les opérateurs des lots puisque les systèmes d'approvisionnement énergétiques sont des systèmes à l'ilot.

Bilan économique	Chaleur	Froid	Global
Investissement total (€ TTC)	911 953,17 €	22 100,00 €	934 053 €
Subventions (€)	- €	- €	- €
Investissement non subventionné (€ TTC)	911 953,17 €	22 100,00 €	934 053 €
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	99,90	206,43	103,9
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	3,99	7,71	4,1
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	2,80	3,41	2,8
Efficacité financière	Chaleur	Froid	Global
Coût moyen (€ TTC/MWh)	451	341	447,2

Tableau 3 : Bilan économique du scénario de référence sur les POSTES CHALEUR (CHAUFFAGE ET ECS) & FROID

L'investissement étant pour partie mutualisé entre la production de froid et de chaud, celui-ci a été pondéré en fonction de l'utilisation pour les besoins de froid ou de chaud. Cette attribution au chaud ou au froid est artificielle, car cette solution technique a été choisie justement pour sa capacité à satisfaire ces 2 besoins énergétiques, il n'est pas possible de dissocier l'investissement pour le chaud de l'investissement pour le froid de manière aussi nette.

6.2.3 Résultats environnementaux

Bilan environnemental	Chaleur	Froid	Global
Consommation d'énergie primaire	1 902	99	2 002
Consommation d'énergie finale (MWh _{ef} /an)	827	43	870
Part d'EnR sur le bilan global	62%	48%	61%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	1,14	1,53	1,16
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	47,15	2,47	49,61
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,74	0,04	0,77
Émissions de NO _x (t/an)	0,39	0,02	0,41
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	41,36	2,16	43,52
Déchets nucléaires HA (kg/an)	8,27	0,43	8,70

Tableau 4 : : Bilan environnemental du scénario de référence sur les POSTES CHALEUR (CHAUFFAGE ET ECS) & FROID

Une part d'énergies renouvelables existe car les PAC utilisent les calories de l'air. Cependant, le ratio d'énergie primaire est supérieur à 1 puisque l'électricité qui alimente les PAC possède un mauvais ratio énergie primaire sur énergie finale.

Ce scénario a été défini comme le scénario de référence, celui-ci constituant la solution la plus avantageuse économiquement à court terme (charges d'exploitation raisonnables pour les utilisateurs) et une solution cohérente avec les ambitions de la RE2020 horizon 2025. Il présente toutefois un bilan environnemental moyennement satisfaisant et demeure dépendant de la variation du prix de l'électricité. Par ailleurs, la performance des PAC air/eau et air/air étant dégradées en hiver lorsque les températures chutent trop, il expose, à moyen et long terme, les occupants du futur projet à des hausses de leur facture énergétique.

6.3 Scénario création d'un réseau de chaleur biomasse

6.3.1 Description du scénario

Typologie	Système productif	Alimentation des besoins		
		Chauffage	ECS	Froid
Logements des lots A, B, C, D, E, F, G, H, J, M	Réseau de chaleur biomasse avec appoint gaz	100%	100%	-
Logements des lots I, K, L	PAC air/eau double service	100%	100%	-
Commerces	PAC eau glacée air/eau + réseau de chaleur biomasse	100%	100%	100 %

Tableau 5 : Description du scénario réseau de chaleur biomasse

La mise en œuvre de chaufferies biomasse, alimentées par des plaquettes forestières, couplée à un appoint gaz permet de couvrir 100% des besoins thermiques, chauffage et ECS, des **logements collectifs des lots A, B, C, D, E, F, G, H, J, M et des commerces**. Sur une échelle annuelle la couverture des consommations par la biomasse est de 80% et de 20% pour le gaz.

Le dimensionnement retenu correspond à une chaufferie biomasse indépendante dimensionnée à 50% de la puissance maximale estimée pour les lots et typologies concernées et complété par un appoint gaz dimensionné à 100 % de la puissance maximale estimée afin de permettre la couverture des besoins lors des pics de froid ou de panne tout en assurant de conserver une viabilité financière.

Des systèmes indépendants du réseau de chaleur biomasse sont considérés pour la production de froid. Il s'agit de PAC eau glacée air/eau installées sur les lots concernés et mutualisées à l'échelle de ces derniers. Un système de PAC eau glacée air/eau permet d'alimenter plusieurs commerces sur un même lot. Le dimensionnement retenu intègre donc 7 installations de rafraîchissement réparties sur les 7 lots présentant des besoins de froid.

Enfin la mise en œuvre à l'échelle des lots I, K et L **d'une installation PAC air/eau** double service avec appoint intégrés permet la couverture de 100 % des besoins en chauffage, ECS de ces lots dont le raccordement au réseau de chaleur n'est pas possible car il viendrait amoindrir de manière trop importante la densité énergétique du réseau à créer.

6.3.2 Résultats économiques

Les réseaux de chaleur biomasse sont éligibles aux aides du fond de chaleur de l'ADEME. Le scénario considérant une installation collective ayant une production supérieure à 1200 MWh/an d'énergie biomasse sortie chaudière, ce dernier est bien éligible au fond de chaleur. En intégrant ces aides financières au calcul, on obtient les résultats suivants

Bilan économique	Chaleur	Froid	Global
Investissement total (€ TTC)	1 971 167,70 €	54 556,00 €	2 025 724 €
Subventions (€)	759 499,99 €	- €	759 500 €
Investissement non subventionné (€ TTC)	1 211 667,71 €	54 556,00 €	1 266 224 €
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	63,75	154,80	67,2
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	5,78	7,71	5,9
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	6,13	8,41	6,2
Efficacité financière	Chaleur	Froid	Global
Temps de retour (années)	10	25	-
Coût moyen (€ TTC/MWh)	142	411	-

Tableau 6 : Bilan économique du scénario RC biomasse sur les POSTES CHALEUR (CHAUFFAGE ET ECS) & FROID

Les installations de chaleur et de froid étant complètement dissociées le temps de retour sur l'investissement global n'est pas calculé car n'ayant

aucune réalité concrète. De même pour le coût moyen de la chaleur et du froid.

6.3.3 Résultats environnementaux

Bilan environnemental	Chaleur	Froid	Global
Consommation d'énergie primaire	892	75	966
Consommation d'énergie finale (MWhet/an)	1 852	32	1 884
Part d'EnR sur le bilan global	82%	61%	81%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	0,55	1,15	0,58
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	77,64	1,85	79,49
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,09	0,03	0,11
Émissions de NOx (t/an)	0,55	0,02	0,57
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	2,23	1,62	3,85
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0,45	0,32	0,77

Tableau 7 : Bilan environnemental du scénario RC biomasse sur le POSTE CHALEUR (CHAUFFAGE ET ECS) & FROID

L'investissement de ce scénario représente un surcoût par rapport au scénario de référence qui est le plus avantageux économiquement au départ. **L'investissement total s'élève à environ 1211 k€TTC avec les subventions de l'ADEME**, soit 33 €/m² SDP, avec un **temps de retour sur investissement de 10 ans. Le coût du réseau de chaleur seul** sans les sous-stations **est de 1 550k€ hors subventions et 792k€ avec les subventions.**

Le **coût moyen de la chaleur** passe de 451 € (pour le scénario de référence) à 142 € TTC/MWh (pour le scénario biomasse bois-énergie), soit une **réduction d'environ 30%** entre le scénario de référence et le scénario biomasse.

Le coût du froid est plus élevé dans ce scénario car les investissements ne sont plus mutualisés avec les investissements pour la chaleur puisque les systèmes de production de chaud et de froid sont découplés. Par ailleurs, un

système de production eau glacée air/eau a été installé plutôt qu'un système air/air.

Le bilan environnemental est plus favorable que celui du scénario de référence en termes de consommation en énergie primaire (division par 2), émissions de SO₂ (division par 7) ainsi que de production de déchets nucléaires (division par 11). Toutefois, le bilan des GES est moins favorable (multiplication par 1.6) pour le scénario biomasse du fait de la présence d'un appoint gaz dans ce scénario et d'une énergie électrique décarbonnée dans le scénario de référence.). Par ailleurs la quantité de particules NOx est augmentée avec ce scénario (multiplication par 1.3).

6.3.4 Mise en œuvre opérationnelle

Création d'un réseau de chaleur Bois

	Conception	Mise en œuvre	Evaluation
Description	Réaliser une étude de faisabilité après définition du périmètre : <ul style="list-style-type: none"> * Création d'une chaufferie bois, du stockage et anticipation des contraintes d'approvisionnement * Estimation des linéaires et du tracé * Caractéristiques du réseau à créer (capacité technique du réseau à véhiculer les puissances raccordées, diamètre...) * Concevoir la chaudière d'appoint et l'approvisionnement gaz 	Travaux de raccordement : <ul style="list-style-type: none"> * Suivi de la préparation des travaux * Suivi de l'exécution des travaux (VRD, raccordement sous-station) * Réception et mise en service 	Suivi de la garantie de parfait achèvement et mesure des performances à travers des indicateurs précis : <ul style="list-style-type: none"> * Taux d'appel de puissance * Taux d'interruption pondéré du service * Bouquet énergétique * Emissions de CO2 * Facteur de ressource primaire * Consommation d'eau sur le réseau * Coût des sinistres * Renouvellement des installations * Prix moyen du MWh
Points de vigilance	Technique <ul style="list-style-type: none"> * Surdimensionner légèrement la puissance des sous-stations * Optimiser l'emplacement des sous-stations pour réduire le linéaire de réseau Moyens et calendrier <ul style="list-style-type: none"> * Phasage (mutualisation des travaux de voiries avec d'autres programmations) * Moyens internes pour le suivi des études * S'entourer d'un BE thermique pour le calcul des besoins * Créer une entité juridique pour la gestion du réseau 	Moyens et calendrier <ul style="list-style-type: none"> * Prévoir un planning de raccordement en cohérence avec le phasage des constructions * Moyens internes pour le suivi des travaux * Planifier les travaux en cohérence avec l'avancement des interventions en termes de VRD (réduction des coûts et des nuisances) 	Technique <ul style="list-style-type: none"> * Sensibilisation aux usagers sur les résultats techniques et financiers à la fin de la saison de chauffe, le bilan d'exploitation, le développement du réseau en production et en extension, la facturation Moyens et calendrier <ul style="list-style-type: none"> * Réaliser un contrat d'exploitation avec intervention quotidienne

6.4 Scénario création d'une boucle d'eau géothermale sur nappe superficielle

6.4.1 Description du scénario

Typologie	Système productif	Alimentation des besoins		
		Chauffage	ECS	Froid
Logements des lots A, B, C, D, E, F, G, H, J, M et commerces	<i>Boucle d'eau tempérée géothermale avec appoint gaz</i>	100%	100%	100 %
Logements des lots I, K, L	<i>PAC air/eau double service</i>	100%	100%	-

Tableau 8 : Description du scénario boucle d'eau géothermale

Ce scénario étudie le cas d'une couverture des besoins de chauffage, de froid et d'ECS **des lots A, B, C, D, E, F, G, H, J, M et de leurs commerces** et commerces par **la géothermie sur nappe superficielle**. Un doublet géothermique sur nappe superficielle accompagné d'un appoint gaz permet de chauffer une boucle d'eau tempérée. Des PAC installées dans les sous-stations de chaque bâtiment permettent de relever la température pour assurer la couverture des besoins de chauffage, d'ECS et de froid.

L'ensemble des besoins en chauffage et ECS des lots I, K et L sont couverts **par des PAC air/eau** double service avec appoint intégré mises en œuvre à l'échelle de chaque lot.

6.4.2 Résultats économiques

Bilan économique	Chaleur	Froid	Global
Investissement total (€ TTC)	2 088 586	32 550	2 121 136 €
Subventions (€)	571 500	0	571 500 €
Investissement non subventionné (€ TTC)	1 517 086	32 550	1 549 636 €
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	45,71	65,19	46,4
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	2,20	3,85	2,3
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	8,30	5,02	8,2
Efficacité financière	Chaleur	Froid	Global
Temps de retour (années)	10	2	-
Coût moyen (€ TTC/MWh)	370	420	-

Tableau 9 : Bilan économique du scénario boucle d'eau géothermale sur les POSTES CHALEUR (CHAUFFAGE ET ECS) & FROID

De même que pour le scénario de référence, l'investissement est en partie mutualisé entre la production de froid et de chaud, donc celui-ci a été pondéré en fonction de l'utilisation pour les besoins de froid ou de chaud. Cette attribution au chaud ou au froid est artificielle, car cette solution technique a été choisie justement pour sa capacité à satisfaire ces 2 besoins énergétiques, il n'est pas possible de dissocier l'investissement pour le chaud de l'investissement pour le froid de manière aussi nette.

6.4.3 Résultats environnementaux

Bilan environnemental	Chaleur	Froid	Global
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	962	31	994
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	502	14	516
Part d'EnR sur le bilan global	76%	83%	76%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	0,58	0,54	0,58
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	58,43	0,78	59,20
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,30	0,01	0,32
Émissions de NOx (t/an)	0,19	0,01	0,19
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	17,09	0,68	17,77
Déchets nucléaires HA (kg/an)	3,42	0,14	3,55

Tableau 10 : Bilan environnemental du scénario boucle d'eau géothermale sur les POSTES CHALEUR (CHAUFFAGE ET ECS) & FROID

Comme pour le scénario biomasse ce scénario présente un investissement supérieur par rapport au scénario de référence qui est le plus avantageux économiquement. **L'investissement total s'élève à environ 1 550k €TTC avec les subventions de l'ADEME**, soit 40 €/m² SDP, avec un **temps de retour sur investissement de 10 ans. Le coût de la boucle d'eau tempérée seule sans les sous-sations est de 1 434k€ hors subventions et 863k€ avec les subventions.**

Le **coût moyen de la chaleur** passe de 451 € (pour le scénario de référence) à 370 € TTC/MWh (pour le scénario biomasse bois-énergie), soit une **réduction d'environ 18%** entre le scénario de référence et le scénario biomasse. Le coût moyen du froid est quant à lui augmenté. Il passe de 420 à 341 du fait de la mise en place d'installation plus performante qui implique un investissement initial plus important.

Le bilan environnemental est plus favorable que celui du scénario de référence en termes de consommation en énergie primaire (division par 2), émissions de SO₂ (division par 2.5) ainsi que de production de déchets nucléaires (division par 2.5). Toutefois, le bilan des GES est un peu moins favorable (multiplication par 1.2) pour le scénario géothermique du fait de la présence d'un appoint gaz dans ce scénario.

Point de vigilance : La réalisation d'un forage test est nécessaire pour déterminer précisément la profondeur de la nappe, son débit, sa température et afin de caractériser le rabattement de la nappe.

6.4.4 Mise en œuvre opérationnelle

Création d'une boucle d'eau Géothermie sur nappe superficielle

	Conception	Mise en œuvre	Evaluation
Description	Etude de faisabilité et dimensionnement de l'installation : <ul style="list-style-type: none"> * Evaluer les besoins * Evaluer le débit d'eau nécessaire * Réaliser un forage test pour valider les caractéristiques de la nappe * Collecter les données (milieu physique, contraintes environnementales, zones à risques) * S'assurer du réel potentiel (caractéristiques des forages voisins, forages test sur site) * Définir l'infrastructure souterraine (forage, pompage) * Définir le réseau de chaleur et concevoir la chaudière et l'approvisionnement gaz * Réaliser les dossiers réglementaires 	Suivi de la préparation des travaux : <ul style="list-style-type: none"> * Conformité du dossier administratif * Bonne desserte, agencement et organisation du chantier * Respect environnement et voisinage * Coordinateur SPS * Conformité matériel Travaux de forage Suivi de l'exécution des travaux et réception: <ul style="list-style-type: none"> * Rapports journaliers par le superviseur 	Suivi de la garantie de parfait achèvement Réaliser un contrat d'exploitation et de maintenance et réaliser un suivi des performances Prévoir le suivi d'exploitation et son coût
Points de vigilance	Technique : <ul style="list-style-type: none"> * Choisir une PAC certifiée Eurovent * Respecter les prescriptions réglementaires pour l'implantation du forage Moyens et calendrier: <ul style="list-style-type: none"> * Réglementation (Loi sur l'eau, Code minier, déclarations ou autorisations) * Choisir une entreprise signataire de la Charte Qualité des Puits et Forages d'Eau * Incitation financière à développer la géothermie grâce aux Fonds Chaleur * La phase faisabilité et dimensionnement dure environ 3 mois * Monter une entité juridique pour gérer le réseau 	Technique : <ul style="list-style-type: none"> * Le compteur de forage doit être agréé par l'Agence de l'Eau * Faire poser un compteur de calories/frigories et des compteurs d'électricité consommée par la PAC pour calculer le COP Moyens et calendrier : <ul style="list-style-type: none"> * Souscrire au fonds de garantie AQUAPAC : garantie de recherche et de pérennité * Faire réaliser les travaux par un professionnel ayant des références * La phase installation dure environ de 3 à 6 mois 	Technique : <ul style="list-style-type: none"> * Calculer le COP Moyens et calendrier : <ul style="list-style-type: none"> * Suivre l'exploitation * Suivre l'instrumentation dans un tableau de bord * Sensibilisation aux abonnés sur les résultats techniques et financiers à la fin de la saison de chauffe, le bilan d'exploitation * L'exploitation dure jusqu'à la fin de vie du système (les gisements géothermiques ont une durée de vie de 30 à 50 ans en moyenne)

6.5 Synthèse comparative des scénarios

6.5.1 Comparaison des bilans environnementaux

Les trois indicateurs environnementaux principaux retenus pour comparer les scénarios d'approvisionnement sont les suivants :

- La part d'ENR sur le bilan global (%)
- Le ratio de consommation de ressources
- Les émissions de GES (teqCO₂/an)
- Les émissions de NOx et de SO₂ (t/an)
- La production de déchets nucléaire (kg/an)

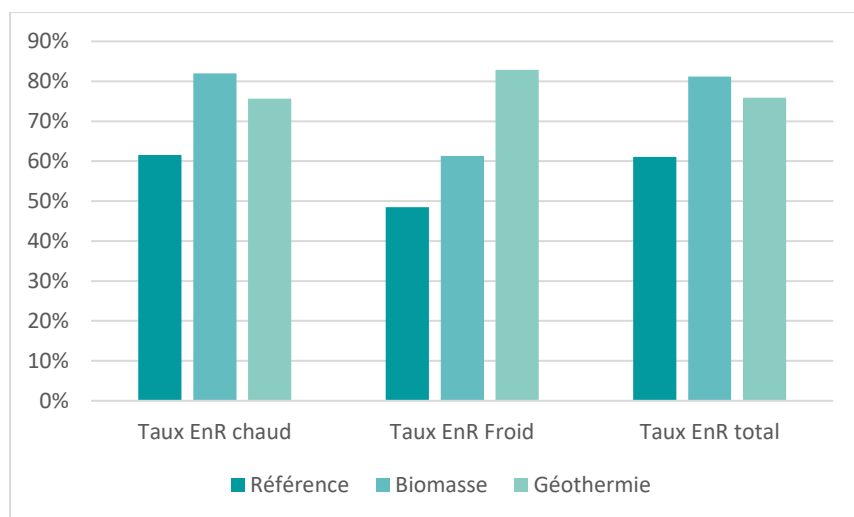


Figure 59 : Comparaison du taux d'ENR des différents scénarios pour les postes CHALEUR (CHAUFFAGE ET ECS) ET FROID

Le scénario RC biomasse possède le meilleur taux d'ENR pour la production de chaleur (82%). La géothermie possède un taux d'ENR quasi équivalent (78%).

La géothermie de loin possède le meilleur taux d'ENR pour la production de froid. Ce sont ensuite les PAC air/eau du scénario biomasse qui possède le second meilleur taux.

Le scénario RC biomasse permet d'atteindre le taux d'ENR le plus important (81%) suivi de près par le scénario géothermie (76%). Le scénario de référence est le scénario avec le plus faible taux d'ENR (61%).

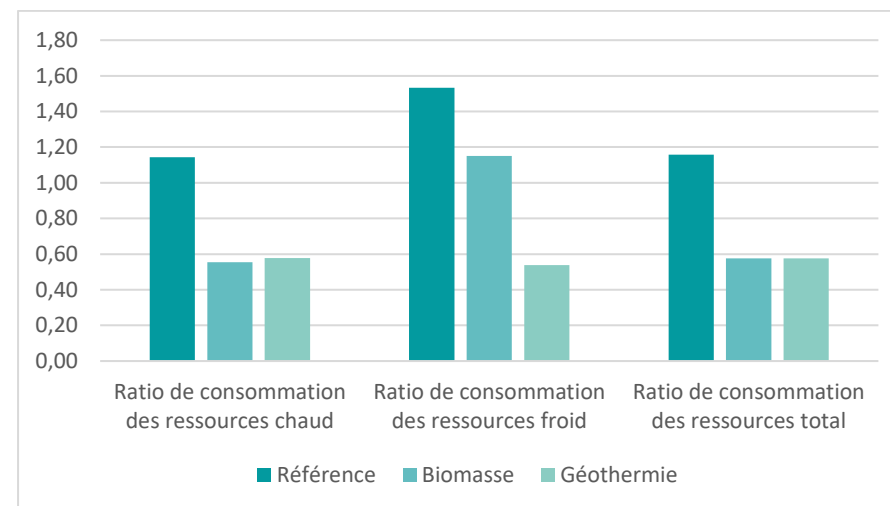


Figure 60 : Comparaison de la consommation d'énergie primaire en MWh/an des différents scénarios pour les postes CHALEUR (CHAUFFAGE ET ECS) ET FROID

Le scénario RC biomasse possède le plus faible ratio de consommation en énergie primaire pour la production de chaleur (0.55) suivi de près par la géothermie (0.58). Le scénario de référence est le moins vertueux en matière de consommation d'énergie primaire.

La géothermie possède de loin le meilleur ratio de consommation en énergie primaire pour la production de froid. Ce sont ensuite les PAC air/eau du scénario biomasse qui possède le second meilleur ratio.

Les scénarios géothermie et RC biomasse permettent d'atteindre au global le meilleur ratio de consommation en énergie primaire (0.58). Le scénario de référence à un ratio de consommation d'énergie primaire moins vertueux car 2 fois plus élevé.

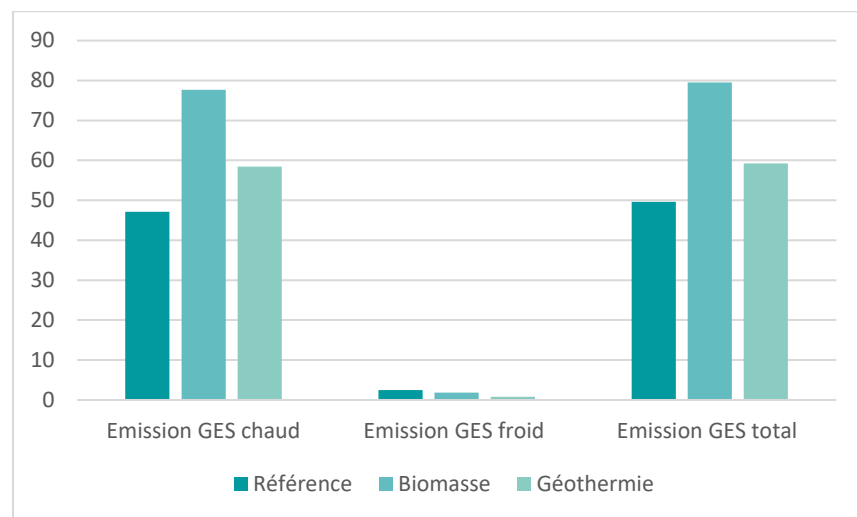


Figure 61 : Comparaison des émissions de GES en T eqCO2/an des différents scénarios pour les postes CHALEUR (CHAUFFAGE ET ECS) ET FROID

Le scénario de référence est le moins émetteurs de GES du fait de l'absence de tout appoint gaz et de la décarbonation du mixte électrique français. Le scénario géothermie est le deuxième moins émetteur de GES (59 teqCO2/an contre 50 teqCO2/an pour le scénario de référence). Le scénario biomasse est le moins vertueux en termes d'émissions de GES (78 teqCO2/an) du fait de la présence d'un appoint gaz qui couvre 20% des besoins. Un travail plus fin avec sur le dimensionnement des appoints pourrait permettre d'améliorer les bilans d'émissions de GES des scénarios RC biomasse et géothermie.

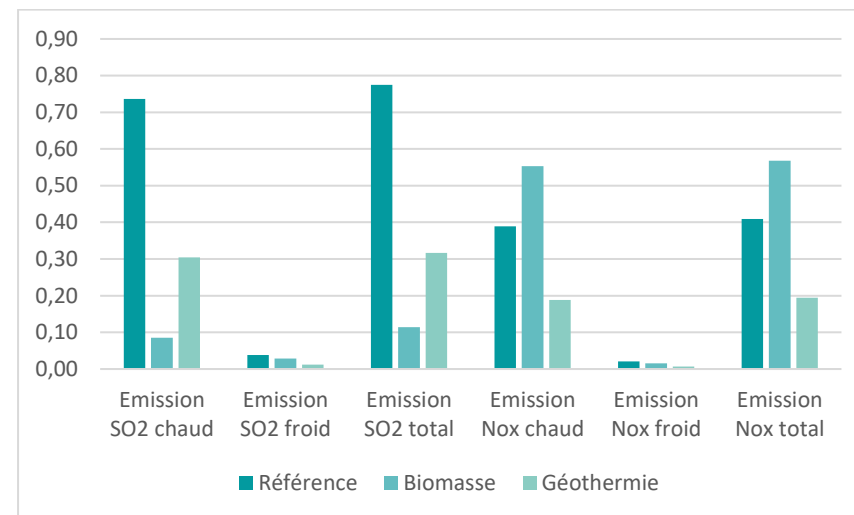


Figure 62 : Comparaison des émissions de particules Nox et de SO2 en T/an des différents scénarios pour les postes CHALEUR (CHAUFFAGE ET ECS) ET FROID

Le scénario de référence possède le plus fort taux d'émission de SO2 (0.77 t/an contre 0.11 t/an pour la biomasse et 0.32 t/an pour la géothermie). **Le scénario biomasse est au global le plus vertueux pour les émissions de SO2.**

Le scénario RC biomasse possède le plus fort taux d'émission de NOx (0.57 t/an contre 0.41 t/an pour le scénario de référence et 0.19 t/an pour la géothermie) lié à la combustion du bois. **Le scénario géothermie est au global le plus vertueux pour les émissions de NOx.**

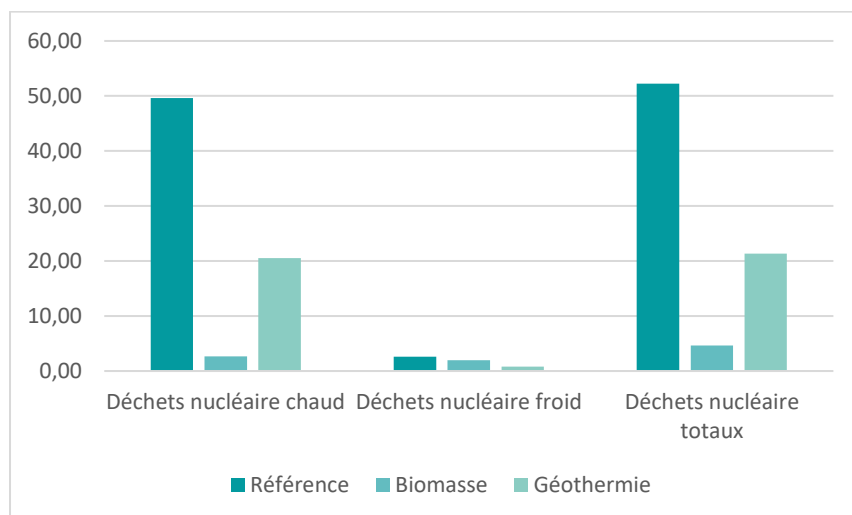


Figure 63 : Comparaison de la production de déchets nucléaires en kg/an des différents scénarios pour les postes CHALEUR (CHAUFFAGE ET ECS) ET FROID

Le scénario RC biomasse produit au global le moins de déchets nucléaires. (4.62 kg/an) suivi par la géothermie (21.32 kg/an). Le scénario de référence est le moins vertueux en matière de production de déchets nucléaires (52.22 kg/an).

Le total des émissions de GES représente la somme des émissions de GES liées à la chaleur et au froid. Le scénario de création d'un RC biomasse est le moins vertueux car pénalisé par l'appoint gaz. Le scénario de référence est le scénario le plus vertueux en termes de diminution des émissions de GES suivi par la géothermie qui présente également un bon bilan GES.

Sur le bilan global, le scénario biomasse présente la part d'EnR la plus importante principalement en raison du poste chaleur qui apporte 82% d'EnR tandis que le scénario géothermie présente la plus grande part d'énergie renouvelable pour la production de froid. Le scénario de référence est celui qui présente le taux d'EnR le plus faible.

Le scénario de référence est le scénario qui ponctionne le plus de ressources à la planète. Les scénarios biomasse par réseau de chaleur et géothermie sont intéressants dans la diminution du ratio de consommation pour produire de la chaleur. En particulier la géothermie qui permet également de limiter la consommation de ressource pour la production de froid.

Enfin le scénario géothermie apparaît comme le plus équilibré en termes d'émissions de particules NOx (oxydes d'azot) et SO2 qui présentent des dangers pour la santé et les écosystèmes.

Au regard des différents indicateurs environnementaux et des enjeux écologiques du site du projet. Le scénario géothermie apparaît comme le plus équilibré et permettant de limiter le plus l'impact direct sur l'environnement du projet et la santé des futurs habitants (cf. émissions NOx et SO2)

6.5.2 Comparaison des bilans économiques

En parallèle du bilan environnemental, le bilan économique et financier global des différents scénarios peut être synthétisé avec plusieurs indicateurs tels que l'investissement non subventionné, le coût moyen de l'énergie sur 30 ans et le temps de retour sur investissement en comparaison au scénario de référence.

Scénarios	Investissement totaux chaud et froid (€ TTC)	Investissement non subventionnés chaud et froid (€ TTC)	Investissement portés par les opérateurs privés	Coût de l'énergie chaud moyen (€ TTC/MWh) sur 30 ans	Temps de retour sur Investissement pour la chaleur
Scénario de référence	934 053 €	934 053,17 €	934 053 €	451	-
Scénario Biomasse par RC	2 025 724 €	1 266 223,71 €	365 806 €	142	10
Scénario Géothermie par boucle d'eau	2 121 136 €	1 549 635,62 €	687 000 €	370	10

Tableau 11 : Comparaison des bilans économiques des différents scénarios

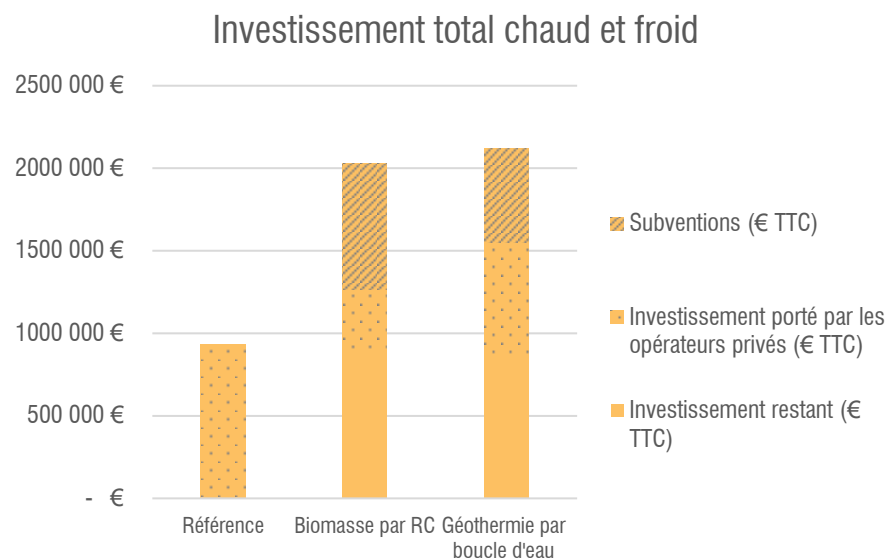


Figure 64 : Comparaison des bilans économiques des différents scénarios

Les scénarios biomasse et géothermie présentent tous les trois un surcoût à l'investissement initial du même ordre de grandeur par rapport au scénario de référence (env. 1M €) et un temps de retour sur l'investissement de 10 ans.

Le scénario consistant en la création d'un réseau de chaleur alimenté par une chaufferie biomasse est le scénario offrant le coût moyen de la chaleur le plus intéressant. Il présente toutefois un léger surcoût sur le coût moyen de la fraîcheur par rapport au scénario de référence du fait de la mise en œuvre dans ce scénario d'une installation de rafraîchissement plus performante. Le scénario géothermie est le deuxième scénario le plus intéressant en terme de coût de la chaleur. Comme pour le scénario biomasse il présente toutefois un surcoût sur le coût moyen de la fraîcheur par rapport au scénario de référence.

Le scénario de référence est le moins avantageux en terme de coût moyen de la chaleur mais le plus important en terme de coût du froid. Au regard des

faibles consommations de froid du projet il est plus pertinent de s'intéresser en priorité au coût de la chaleur.

6.5.3 Conclusion générale

Les scénarios de création d'un réseau de chaleur biomasse et de création d'une boucle d'eau géothermale présentent des bilans financiers intéressants en particulier le scénario biomasse qui permet d'atteindre un coût moyen de la chaleur très bas.

D'un point de vue environnementale le scénario géothermie est le plus équilibré en termes d'impact environnementale en considérant l'ensemble des indicateurs environnementaux étudiés.

