

Étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables

ZAC La Bande du Moulin - ALLAIRE

Rapport d'étude

Avril 2025

Le Cerema est l'expert public de l'adaptation des territoires au changement climatique

Il est l'unique établissement national dont la gouvernance est à pilotage partagé entre l'État et les collectivités territoriales avec plus de 950 collectivités adhérentes. Il est présent dans l'Hexagone et dans les Outre-mer grâce à ses 27 implantations et ses 2 500 agents.

Détenteur d'une expertise nationale mutualisée, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales par l'élaboration coopérative, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques et projets d'aménagement et de transport. Doté d'un fort potentiel d'innovation et de recherche, le Cerema agit dans 6 domaines d'activités : Expertise & ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral.

Le Cerema est un établissement public relevant du ministère de l'Aménagement du territoire et de la Décentralisation et du ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche.

Étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables ZAC Bande du Moulin - ALLAIRE

Commanditaire : GAVARD Anne - DGS - Commune d'Allaire

Autrice :

Charlie LE GALLUDEC – Département Énergie Territoire Bâtiment – Pôle réseaux de chaleur

Direction Ouest

CAN – 12 Boulevard Vincent Gâche – CS 46223 – 44262 Nantes cedex 2

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	23/04/2025	

Nom	Service	Rôle	Date	Visa
LE GALLUDEC Charlie	O/DTT/ETB	Auteur principal	23/04/2025	
		Contributeur		
		Contributeur		
LEFRÈRE Odile	O/DTT/ETB	Relecteur	23/04/2025	
		Relecteur		

Résumé de l'étude

Toute action ou opération d'aménagement faisant l'objet d'une évaluation environnementale 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. Un décret en Conseil d'État détermine les modalités de prise en compte des conclusions de cette étude de faisabilité dans l'étude d'impact prévue à l'article L. 122-3 du code de l'environnement.

5 à 10 mots clés à retenir de l'étude

Énergies Renouvelables	
Planification énergétique	

Statut de communication de l'étude

Les études réalisées par le Cerema sur sa subvention pour charge de service public sont par défaut indexées et accessibles sur le portail documentaire du Cerema. Toutefois, certaines études à caractère spécifique peuvent être en accès restreint ou confidentiel. Il est demandé de préciser ci-dessous le statut de communication de l'étude.

- Accès libre : document accessible au public sur internet
- Accès restreint : document accessible uniquement aux agents du Cerema
- Accès confidentiel : document non accessible

Cette étude est capitalisée sur la plateforme documentaire [CeremaDoc](https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx), via le dépôt de document : <https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx>

Contexte et objet de l'étude

Pour tout nouveau projet de zones d'aménagement concerté (ZAC), l'article L300-1 du Code de l'Urbanisme impose la réalisation d'une étude de faisabilité sur le développement des énergies renouvelables de la zone.

Créée en 2009, le projet de la ZAC a été engagé antérieurement à l'entrée en vigueur de l'article L.300-1.1 du Code de l'urbanisme. Toutefois, la collectivité souhaite désormais se mettre en conformité avec les exigences réglementaires pour la poursuite des aménagements.

SOMMAIRE

1	Descriptif et contexte du projet	7
1.1	La commune d'Allaire	7
1.2	ZAC la Bande du Moulin	8
1.3	Typologie d'aménagement	9
2	Les consommations énergétiques de la zone	11
2.1	Besoins énergétiques de la ZAC	11
2.2	Éclairage public	15
2.3	Transports	16
3	Le potentiel de développement des énergies renouvelables	17
3.1	Réseau de chaleur	17
3.2	Solaire thermique	22
3.3	Géothermie	25
3.4	Aérothermie	29
3.5	Récupération de chaleur fatale - industrie et eaux usées	30
3.6	Biomasse	33
3.7	Photovoltaïque	35
3.8	Éolien	36
3.9	Méthanisation	37
3.10	Hydroélectricité	37
4	Scénario d'opportunité de développement des EnR	38
4.1	Évaluation économique	38
4.2	Bilan	43

1 DESCRIPTIF ET CONTEXTE DU PROJET

1.1 La commune d'Allaire

Allaire est une commune du Morbihan située à 9km à l'ouest de Redon (Ile-et-Vilaine) et faisant partie de Redon agglomération. Avec une superficie de 41.74 km² et une population qui s'élève à 3 875 habitants (INSEE 2021) elle présente une densité moyenne d'environ 93 hab/km². Elle est catégorisée comme Bourg Rural par le classement densité de l'Insee.

Stratégies de développement

La commune mise sur :

- La densification du bourg par l'acquisition de fonds de parcelles pour créer des logements
- La reconquête d'espaces dédiés aux mobilités douces (cheminements piétons) et la requalification de zones commerciales
- La préservation des éléments paysagers (haies, chemins ruraux) identifiés dans le PLU

Cadre de vie et équipements

Allaire dispose d'équipements structurants : écoles, collège, médiathèque, salles polyvalentes et d'un réseau de sentiers de randonnée valorisant son patrimoine naturel (vallées de la Vilaine et de l'Arz, site de la Ferme de Coueslé). Son dynamisme économique s'appuie sur un tissu diversifié (industrie, artisanat, commerce). La ville compte notamment l'entreprise CDL « Celluloses de la Loire ».

Climat

Le climat est de type océanique franc

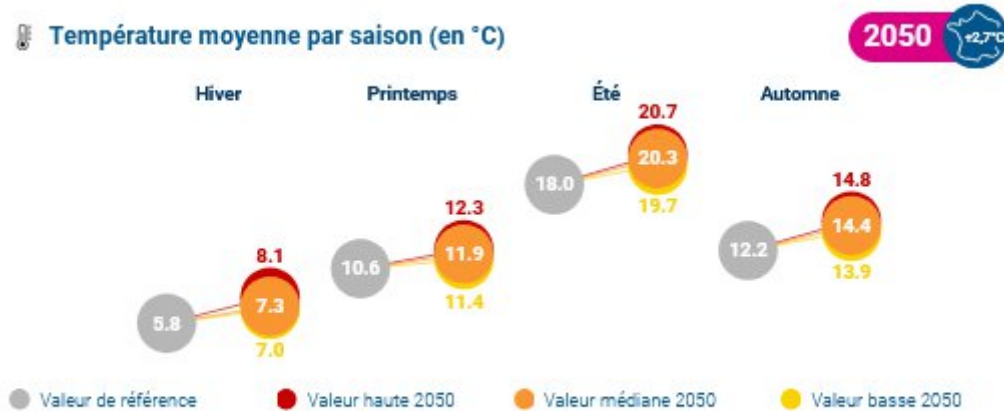
Les risques naturels identifiés (source : Géorisques) sont : Retrait-Gonflement des argiles, Inondations. Horizon 2050

Le site de meteofrance fourni une visualisation des indicateurs climatiques à horizon 2050 pour la commune d'Allaire [1] :

[1] Météo France : <https://meteofrance.com/climadiag-commune>

Indicateurs "Climat"

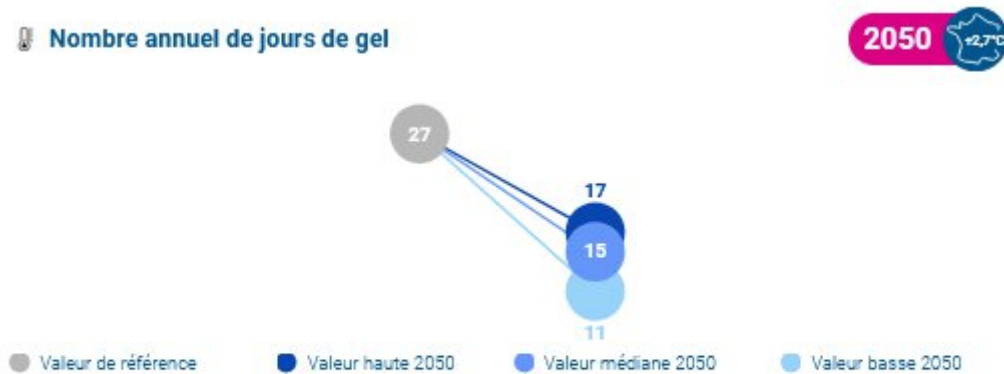
Température moyenne par saison (en °C)



A l'échelle de la France, la température moyenne annuelle augmentera de plus de 2.0 °C d'ici l'horizon 2050 par rapport au climat récent, ce réchauffement étant plus marqué l'été que l'hiver.

Pour votre commune, la figure ci-dessus représente, saison par saison, l'évolution de la température moyenne entre le climat récent et celui attendu à l'horizon 2050.

Nombre annuel de jours de gel



Est considéré comme jour de gel un jour où la température descend en dessous de 0 °C.

A l'échelle de la France, le nombre annuel de jours de gel baissera fortement dans le climat futur.

Pour votre commune, la figure ci-dessus représente l'évolution du nombre annuel de jours de gel, entre le climat récent et celui attendu à l'horizon 2050.

1.2 ZAC la Bande du Moulin

La Bande du Moulin était un large espace agricole de 12 hectares enclavé dans le tissu urbanisé au nord du centre d'Allaire. On y note la présence d'un ruisseau et d'une prairie attenante potentiellement humide.

L'aménagement de la Bande du Moulin a vocation à :

- Répondre aux besoins de développement de la commune par la création de logements accessibles financièrement
- D'accueillir des opérations denses garantissant la mixité sociale et générationnelle dans l'habitat
- La mise en place d'un secteur accueillant des logements adaptés aux personnes âgées, près du cœur de ville



Figure 1. Octobre 2021 – ZAC de la Bande du Moulin : Tranche 3 – www.allaire.bzh.

1.3 Typologie d'aménagement

Le projet qui consiste en la création de 239 logements est structuré en 5 tranches décrites ci-dessous :

- Tranche 1 : Construction de 22 logements – déjà réalisée
- Tranche 2 : 18 logements – déjà réalisée – déjà réalisée
- Tranche 3 : 30 logements – déjà réalisée – déjà réalisée
- Tranche 4 : 93 logements (en zone sud)
- Tranche 5 : 76 logements (en zone nord)
-

Les tranches déjà réalisées comprennent 64 lots libres – et un cabinet médical ainsi que 1 macro lot – de 6 logements intermédiaires pour seniors.

Plan de composition ZAC modifié 2024

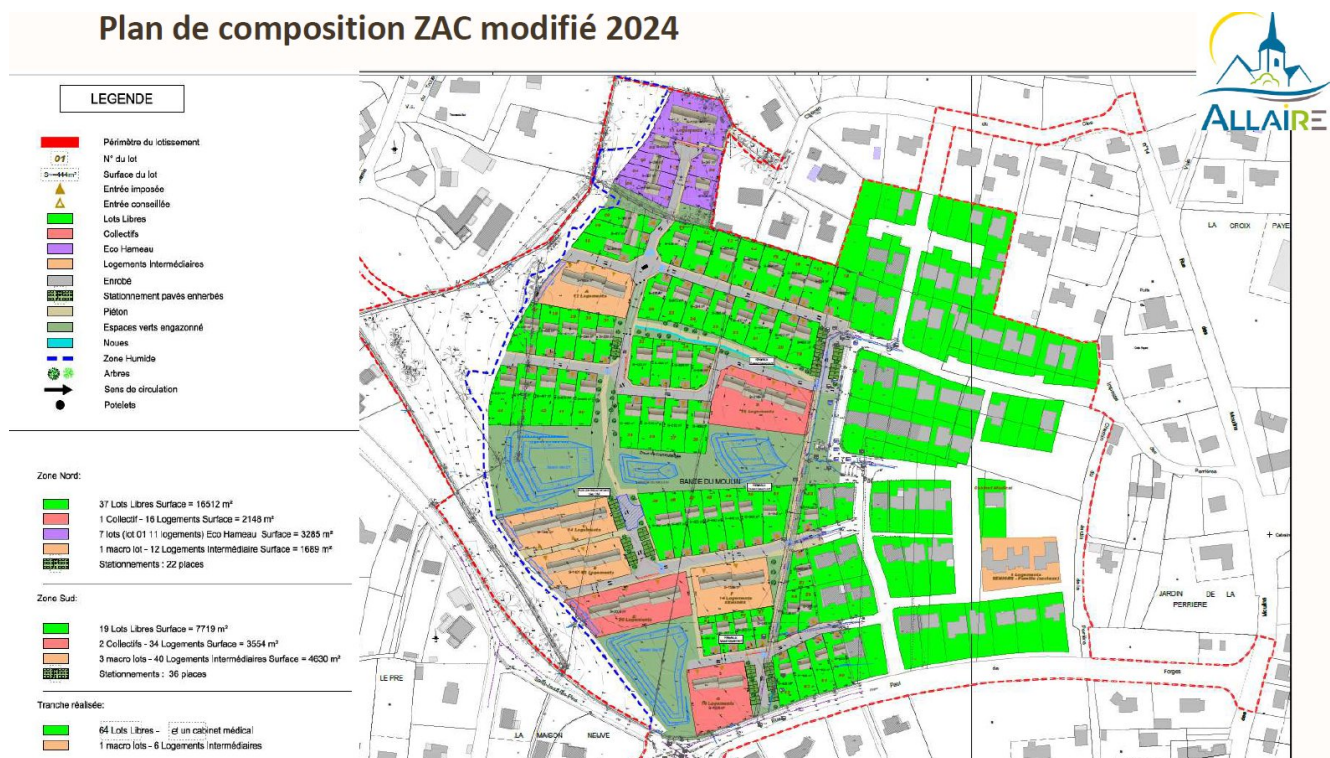


Figure 2. Implantation de la ZAC – À l'est de la ZAC, les futures tranches 4 et 5 ; à l'ouest les tranches déjà réalisées.

Cette étude se concentre sur les tranches 4 et 5 qui ne sont pas réalisées, tout en prenant en compte l'existant sur l'ensemble de la ZAC.

La Tranche n°4 (SUD) comprends les aménagements suivants :

- 19 lots libres – Surface = 7 719m²
- 2 Collectifs - 34 logements – Surface = 3 554m²
- 3 macro lots - 40 logements intermédiaire – Surface = 4 630m²
- Stationnement : 36 places

La Tranche n°5 (NORD) comprends les aménagement suivants :

- 37 lots libres – Surface = 16 512m²
- 1 Collectif - 16 logements – Surface = 2 148m²
- 7 lots (lot 01 comprend 11 logements) Eco-Hameau – Surface 3 285m²
- 1 macro lot - 12 logements intermédiaires – Surface = 1 689m²
- Stationnements : 22 places

Sur ces deux tranches, sont exclusivement prévu des bâtiments résidentiels collectif et individuel. Aucun local commercial n'est intégré au projet.

2 LES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES DE LA ZONE

Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et les consommations d'énergies non renouvelables au niveau de la ZAC, il est nécessaire de combiner deux méthodes :

- ▶ La réduction des consommations d'énergies par une maîtrise de l'énergie : réduction des déperditions ; maîtrise des besoins
- ▶ Le développement des énergies renouvelables et de récupération

2.1 Besoins énergétiques de la ZAC

2.1.1 Réglementation applicable

Les logements qui seront construits sur la Bande du Moulin seront soumis à la **Réglementation Environnementale 2020** (RE2020) entrée en vigueur à compter du 1er janvier 2022 pour l'habitation. Nous allons donc estimer les consommations des bâtiments en respect de cette réglementation.

La RE2020 a pour objectif :

- La sobriété énergétique et la décarbonation de l'énergie
- La diminution de l'impact carbone
- La garantie de confort en cas de forte chaleur

Elle est basée sur une évaluation de 6 indicateurs répondants à des exigences minimales.

En ce qui concerne les consommations énergétiques, il existe les indicateurs suivants :

- Bbio [points] : Besoins bioclimatiques = Évaluation des besoins de chaud, de froid (que le bâtiment soit climatisé ou pas) et d'éclairage.
- Cep [kWhep/(m².an)] : Consommations d'énergie primaire totale.
- Cep,nr [kWhep/(m².an)] : Consommations d'énergie primaire non renouvelable

Pour ces deux indicateurs l'évaluation des consommations d'énergies se fait pour 5 usages déjà présents dans la RT 2012 :

- ▶ Le chauffage,
- ▶ Le refroidissement,
- ▶ L'eau chaude sanitaire (ECS),
- ▶ L'éclairage,
- ▶ La ventilation et les auxiliaires + éclairage des circulations (pour le collectif) + électricité ascenseurs.

Le périmètre retenu pour l'évaluation énergétique et environnementale est celui du permis de construire. L'évaluation est liée au niveau du bâtiment et de la parcelle.

Pour un bâtiment moyen les exigences de consommations maximales sont les suivantes [2] :

[2] Guide RE2020 :

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/guide_re2020_version_janvier_2024.pdf

Usage de la partie du bâtiment	Valeur de Cep,nr_maxmoyen	Valeur de C_maepxmoyen
Maisons individuelles ou accolées	55 kWhep/(m².an)	75 kWhep/(m².an)
Logements collectifs	70 kWhep/(m².an)	85 kWhep/(m².an)

En prenant en compte les contraintes de chaque bâtiment (zone géographique présence de combles, surfaces moyenne des logements, surface du bâtiment, catégorie de contraintes extérieures) on a :

$$\text{Cep}_{nr_max} = \text{Cep}_{nr_maxmoyen} \times (1 + \text{Mcgéo} + \text{Mccombles} + \text{Mcsurf_moy} + \text{Mcsurf_tot} + \text{Mccat})$$

Et

$$\text{Cep}_{max} = \text{Cep}_{maxmoyen} \times (1 + \text{Mcgéo} + \text{Mccombles} + \text{Mcsurf_moy} + \text{Mcsurf_tot} + \text{Mccat})$$

Avec :

- ▶ **Mcgéo** : coefficient de modulation selon la localisation géographique (zone géographique et altitude) du bâtiment.
- ▶ **Mccombles** : coefficient de modulation selon la surface de plancher de combles aménagés dans la maison individuelle ou accolée.
- ▶ **Mcsurf_moy** : coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment ou de la partie de bâtiment.
- ▶ **Mcsurf_tot** : coefficient de modulation selon la surface totale du bâtiment. Modulation valable pour toute typologie de bâtiment, hors maison individuelle ou accolée (en MI, $\text{Mcsurf_tot}=0$).
- ▶ **Mccat** : coefficient de modulation selon la catégorie de contraintes extérieures du bâtiment. **Mccat** permet de compenser les contraintes extérieures qui limitent les possibilités de ventilation naturelle du bâtiment par ouverture des fenêtres, lorsque cela impose le recours à un système de climatisation pour les constructions du pourtour et de l'arrière-pays méditerranéen (H2d et H3).

Dans le cas des logements de la ZAC Bande du Moulin nous prenons les valeurs suivantes [2]:

Usage de la partie du bâtiment	Mcgéo (zone H2a)	Mccombles	Mcsurf_moy	Mcsurf_tot	Mccat
Maisons individuelles ou accolées	-0,05	0	-0,1	0	0
Logements collectifs	-0,1	0	0,036	0,043	0

On considère qu'il n'y a pas de combles aménagés.

Nous obtenons donc les valeurs Cep_{max} et Cep,nr_{max} suivantes :

Usage de la partie du bâtiment	Cep,nr_{max}	Cep_{max}
Maisons individuelles ou accolées	46,75 kWhep/(m ² .an)	63,75 kWhep/(m ² .an)
Logements collectifs	68,53 kWhep/(m ² .an)	83,22 kWhep/(m ² .an)

2.1.2 Calcul des consommations maximales

Les hypothèses de surfaces habitable choisies par type de lot sont détaillées dans le tableau ci-dessous :

	Type de logement	Surface habitable estimée
Lots libres	Maison individuelle	110m ²
Logements collectifs	Appartements	70m ²
Logements intermédiaires :	Maisons mitoyennes	95m ²
Éco-hameau (lots logements or collectif)	Petites maison individuelles	95m ²

Pour la tranche 4(Sud), les surfaces totales d'habitables par catégorie de logement sont :

$$\text{Maisons individuelles ou accolées} - 19 \times 110 + 40 \times 95 = \mathbf{5\ 890\ m^2}$$

$$\text{Logements collectifs} - 34 \times 70 = \mathbf{2\ 380\ m^2}$$

Pour la tranche 5(Nord), les surfaces totales d'habitables sont :

$$\text{Maisons individuelles ou accolées} - 37 \times 110 + (6 + 12) \times 95 = \mathbf{5\ 780\ m^2}$$

$$\text{Logements collectifs} - (16 + 11) \times 70 = \mathbf{1\ 890\ m^2}$$

La formule de calcul fournie par la RE2020 nous donne la valeur maximale de consommation d'énergie primaire (tous types) telle que :

$$\begin{aligned}
 \text{Consommation totale max} \left(\frac{\text{kWhep}}{\text{an}} \right) &= C_{ep,max} \times \text{surface habitable} \\
 &= \underbrace{63,75 \times 5\,890 + 83,22 \times 2\,380}_{\text{Tranche 4}} + \underbrace{63,75 \times 5\,780 + 83,22 \times 1\,890}_{\text{Tranche 5}} \\
 &= 647\,506 + 547\,941
 \end{aligned}$$

Consommation totale max = 1 195 MWhep / an

Dans ces consommations, la RE2020 fixe un maximum issues d'énergies non renouvelables par la formule suivante :

$$\begin{aligned}
 \text{Consommation totale max} \left(\frac{\text{kWhep}}{\text{an}} \right), nr &= C_{ep,nr,max} \left(\frac{\text{kWhep}}{\text{an.m}^2} \right) \times \text{surface habitable (m}^2\text{)} \\
 &= \underbrace{46,75 \times 5\,890 + 68,53 \times 2\,380}_{\text{Tranche 4}} + \underbrace{46,75 \times 5\,780 + 68,53 \times 1\,890}_{\text{Tranche 5}} \\
 &= 521\,223 + 424\,566
 \end{aligned}$$

Consommation totale max, nr = 946 MWhep / an

2.1.3 Consommations - Énergie finale

L'énergie finale (MWhEF) est la quantité d'énergie directement consommée par l'utilisateur final.

L'énergie primaire (kWhEP) est la consommation nécessaire à la production de cette énergie finale.

On a la relation suivante : Énergie primaire = Énergie finale × Conversion en EP

Du fait des pertes liées à la production, la transformation, le transport et le stockage, les coefficients de conversion entre énergie finale et primaire sont pour la RE 2020 conventionnellement les suivants :

- ▶ Coef EP : coefficient de conversion de l'énergie finale en énergie primaire totale
- ▶ Coef EPnr : coefficient de conversion de l'énergie finale en énergie primaire non renouvelable

Vecteur énergétique	Coef EPnr	Coef EP
Électricité du réseau national	2,3	2,3
Gaz, charbon, produits pétroliers	1	1
Réseau de chaleur urbain	Ch : 1 - % EnR&R FR : 1	1
biomasse	0	1
EnR captée sur le bâtiment ou la parcelle	0	0

Ainsi, pour un choix de réseau de chaleur comme vecteur énergétique, on considérera une consommation maximale en énergie finale de 1 995 MWh ef/an pour la zone.

Pour le choix de l'électricité comme vecteur énergétique, on considérera une consommation maximale en énergie finale de 519MWh / an.

2.2 Éclairage public

Les règles d'éclairage concernant l'éclairage public sont définies dans la norme européenne Éclairage public EN 13-201. Cette norme n'est pas d'application obligatoire, mais elle précise des recommandations. En lotissement, le niveau d'éclairage recommandé est de 15 lux au sol.

On considérera la mise en place de 1 luminaire de 70W tous les 25 mètres. Les longueurs de voiries des tranches 4 et 5 sont estimée à environ 1 100m d'où une puissance à installer de 3,15k W

Soit, en considérant un allumage de 8 heures par jour, une consommation annuelle de 9,2MWh

La part de l'éclairage public dans la consommation énergétique de la zone est faible (environ 0,8%).

La mise en place d'aménagement des plages horaires d'éclairage, ou d'allumage de candélabre sur détection peut permettre de faire des économies substantielles.

2.3 Transports

Dans une perspective de transition énergétique et conformément aux objectifs nationaux de décarbonation du secteur des transports, les besoins énergétiques liés à la recharge des véhicules électriques (VE) ont été intégrés dans l'estimation globale des consommations de la ZAC.

La ZAC étant à dominante résidentielle, les recharges s'effectueront majoritairement à domicile, avec des puissances faibles à modérées (3,7 à 7,4 kW). Le code de la construction et de l'habitation oblige de pré-équiper les parkings en installation de recharge de véhicules électriques (IRVE) à partir de 10 places de stationnement pour le résidentiel neuf. Les deux tranches sont concernées : l'une comportant 36 places de stationnement, l'autre 22, soit 58 places au total.

Au delà du pré-équipement des stationnements, en termes de consommation et en se basant sur une hypothèse réaliste de 30 % de taux d'équipement en VE à horizon 2030, on peut estimer la consommation supplémentaire induite par le poste transport.

La ZAC comprend un total de 169 foyers, majoritairement en logement individuel. En s'appuyant sur une moyenne de 1,3 véhicule par foyer, le parc automobile résidentiel est estimé à environ 220 véhicules.

En retenant un taux de conversion à l'électrique de 30 % à l'horizon 2030, cela représente environ 66 véhicules électriques.

La recharge de ces véhicules à domicile, sur des bornes de puissance standard (3,7 à 7,4 kW), génère une consommation énergétique estimée à 4.5kWh/jour/VE (environ 30km/jr) , soit :

- consommation quotidienne ; $66 \times 4.5 = 297$ kWh/jour
- consommation annuelle : $297\text{kWh/jr} \times 365 = 108,4$ MWh/an

Ce poste de consommation représente une part significative du bilan énergétique, notamment en électricité. Il devra être intégré au dimensionnement des réseaux, et pourra être optimisé par l'installation de bornes de recharge intelligentes couplées à des dispositifs de production photovoltaïque, en autoconsommation partielle.

3 LE POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

3.1 Réseau de chaleur

3.1.1 Qu'est-ce qu'un réseau de chaleur ?

Un réseau de chaleur est système de chauffage mutualisé à l'échelle d'un quartier ou d'une ville. Ce système permet une distribution de la chaleur produite de façon centralisée à plusieurs usagers.

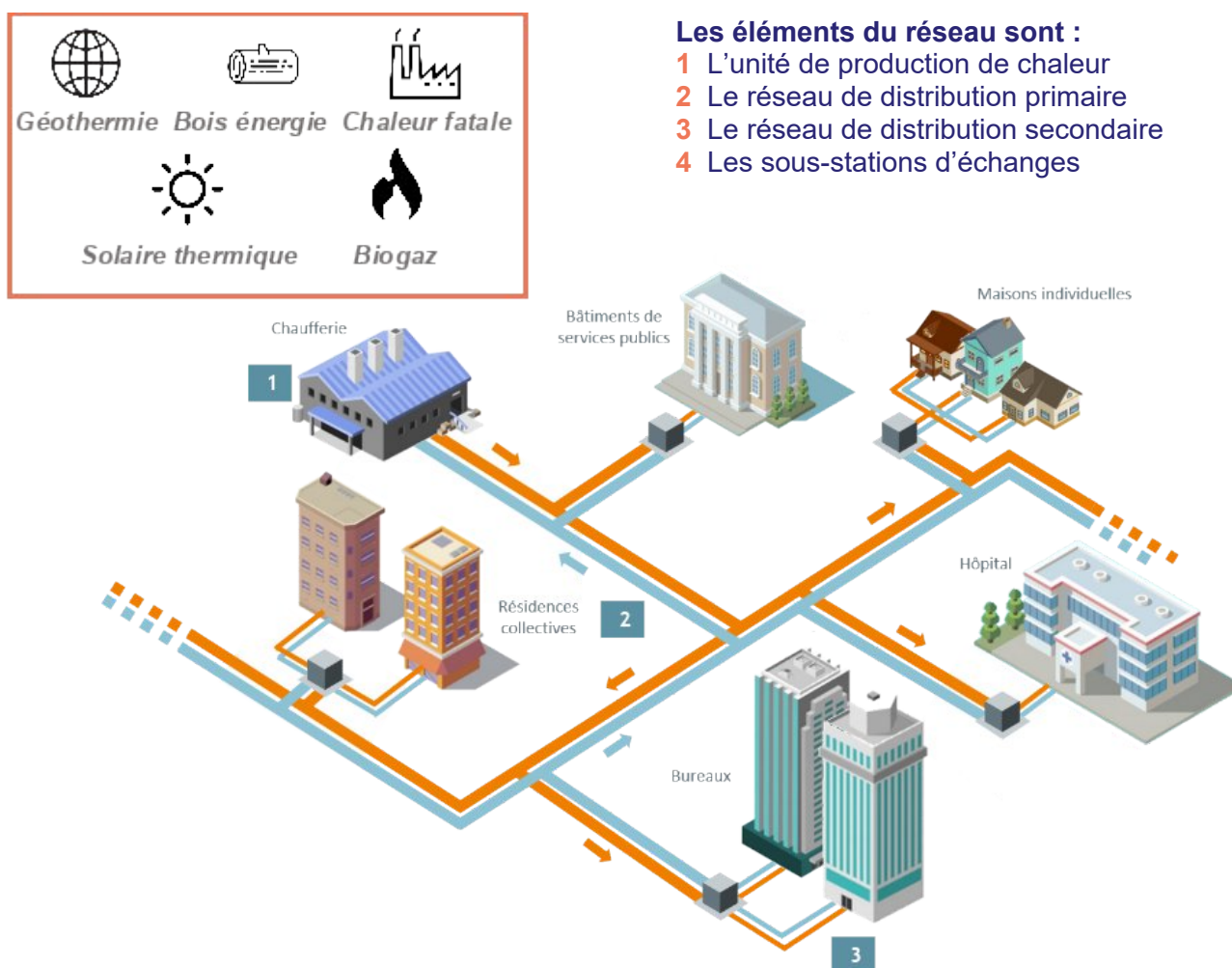


Figure 3. Schéma d'un réseau de chaleur urbain © freepik

Tout réseau de chaleur comporte les principaux éléments suivants :

- **L'unité de production de chaleur** qui peut être, par exemple, une usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM), une chaufferie alimentée par un combustible (fioul, gaz, bois...), une centrale de géothermie profonde, etc. Généralement un réseau comporte une unité principale qui fonctionne en continu et une unité d'appoint utilisée en renfort pendant les heures de pointe, ou en remplacement lorsque cela est nécessaire.

- **Le réseau de distribution primaire** composé de canalisations dans lesquelles la chaleur est transportée par un fluide caloporteur (vapeur ou eau chaude). Un circuit aller (rouge) transporte le fluide chaud issu de l'unité de production. Un circuit retour (bleu) ramène le fluide, qui s'est délesté de ses calories au niveau de la sous-station d'échange. Le fluide est alors à nouveau chauffé par la chaufferie centrale, puis renvoyé dans le circuit. La conception du réseau vise à assurer une densité thermique (nombre de bâtiments raccordés par kilomètre de conduite posée) aussi élevée que possible, afin de permettre la viabilité économique du réseau (coût d'investissement fortement liée au linéaire de conduite ; recettes liées au nombre d'usagers).
- **Les sous-stations d'échange**, situées en pied d'immeuble, permettent le transfert de chaleur par le biais d'un échangeur entre le réseau de distribution primaire et le réseau de distribution secondaire qui dessert un immeuble ou un petit groupe d'immeubles. Le réseau secondaire ne fait pas partie du réseau de chaleur au sens juridique, car il n'est pas géré par le responsable du réseau de chaleur mais par le responsable de l'immeuble.

Le réseau de chaleur a pour avantages :

- ▶ Massification du développement des EnR&R
- ▶ Utilisation de sources d'énergies variées
- ▶ Valorisation d'énergies locales
- ▶ Reprise en main de la question énergétique par les décideurs locaux
- ▶ Outil des politiques d'aménagement du territoire
- ▶ Solidarité inter-quartiers
- ▶ Lutte contre la précarité énergétique
- ▶ Solution évolutive : *Extension, densification, verdissement*

3.1.2 Commune d'Allaire

Il n'existe pas actuellement de réseaux de chaleur sur le territoire de Redon Agglomération.

L'outil EnRezo développé par le Cerema identifie des **zones d'opportunités pour le développement de réseaux de chaleur** sur l'agglomération, à Redon, mais également au centre de la commune d'Allaire (Figure 4).



Figure 4. Capture d'écran du portail EnRezo – Agglomération de Redon

Ces zones d'opportunités sont calculées à partir d'une estimation des besoins en chaleur des bâtiments et du calcul d'une **densité linéaire** entre ces bâtiments. Elles prennent donc en compte des bâtiments fort consommateurs (>100MWh/an) et qui se trouvent suffisamment proches pour les regrouper en un réseau de chaleur.

Le potentiel identifié concerne une zone du centre de la commune (Figure 5). Elle regroupe les bâtiments suivants :

- L'école Renaudeau
- La maison de santé

Dans le même secteur, un peu plus au sud on trouve également d'autres consommateurs :

- La maison du temps libre
- Le collège privé Saint-Hilaire
- Le Stade municipal
- Ateliers municipaux
- Salle omnisport
- Maison de retraite les Ajoncs d'Or

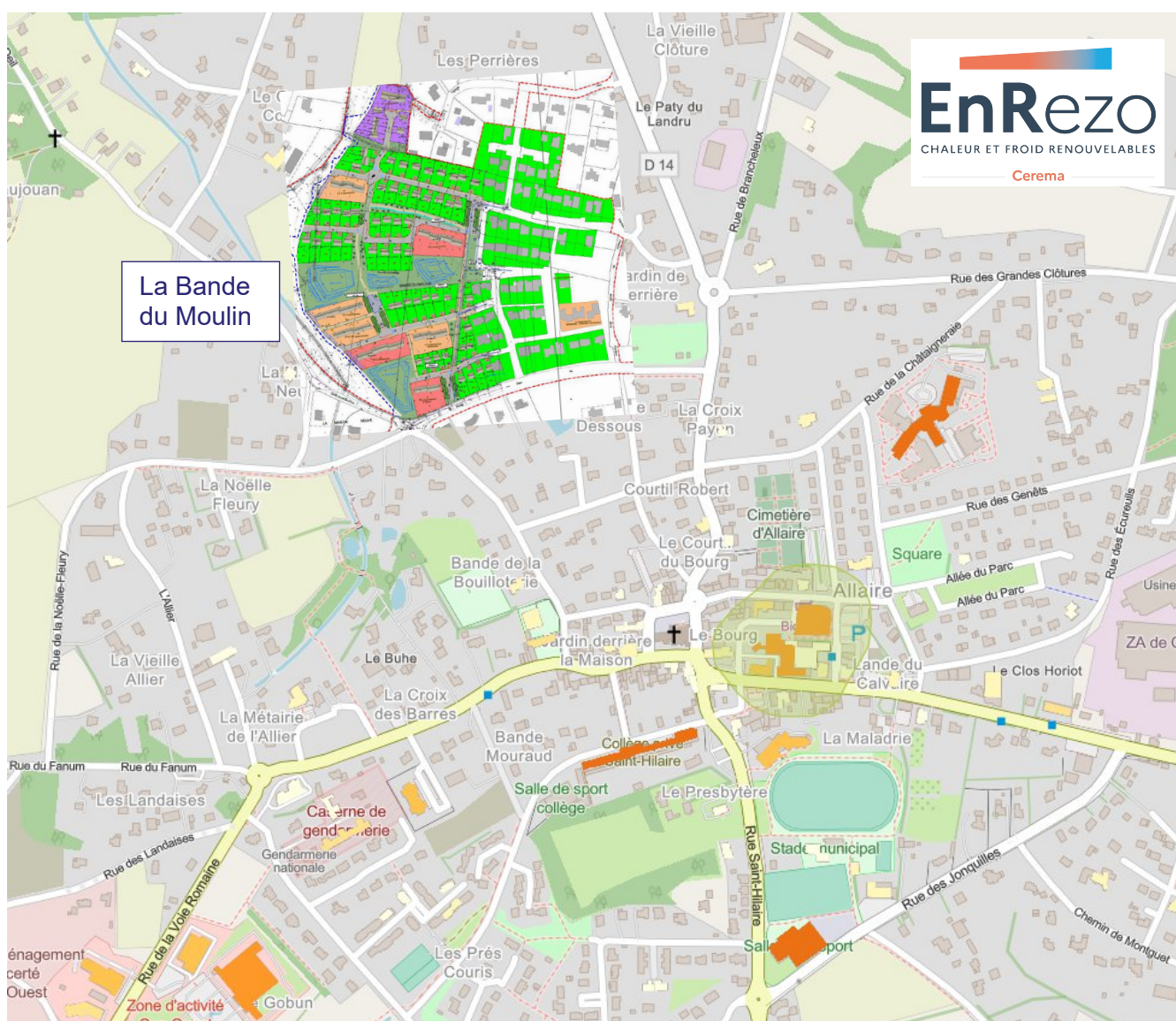


Figure 5. Projet ZAC dans la commune d'Allaire et bâtiments consommateurs – Capture EnRezo

3.1.3 ZAC La Bande du Moulin

Densité thermique

On évalue la pertinence d'un projet réseau de chaleur à partir du calcul de la **densité thermique**. Celle-ci correspond au rapport entre les besoins en chaleur de la zone (en MWh) et le mètre de réseau nécessaire à l'alimentation de la zone (en ml).

La consommation maximale d'énergie primaire de la zone calculée précédemment est de 1 195MWh ep/an. Cette consommation maximale couvre les usages de chaleur et climatisation mais également d'éclairage, de ventilation et des auxiliaires.

La part de consommation d'énergie dans les logements français consacrée aux besoins en chaleur est d'environ 75%.

Ainsi, pour le projet de la Bande du Moulin, nous avons les éléments suivants :

- ▶ Besoins en chaleur de la zone : 896MWh ep/an
- ▶ Longueur du réseau estimée : 1 000ml

Ce qui représente une densité thermique linéaire de 0,9

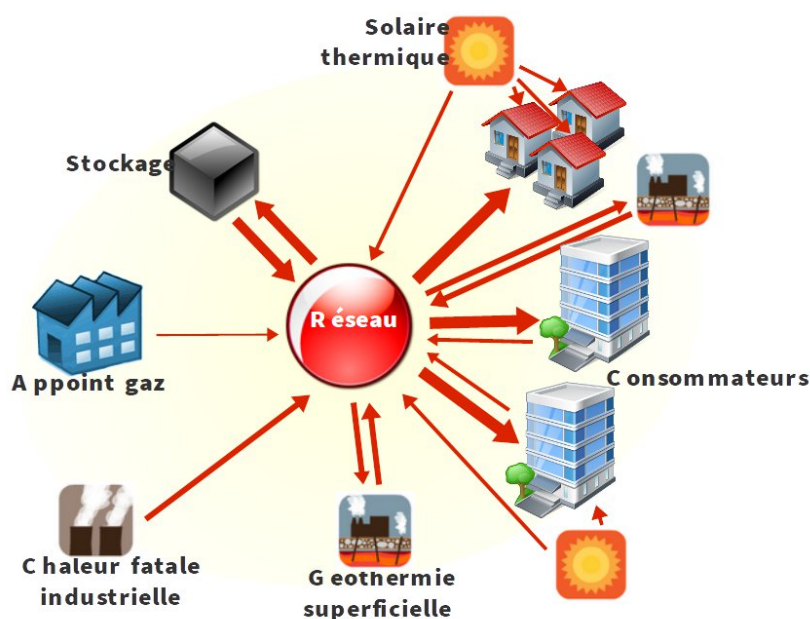
La densité thermique minimum nécessaire à la validité d'un projet d'après les critères de l'Ademe est de 1,5. Il ne semble donc pas pertinent de développer un réseau de chaleur dans la zone.

Par ailleurs, la valeur de consommation de la RE2020 utilisée est une valeur maximale à ne pas dépasser. Aussi, il est raisonnable de penser que les besoins en chaleur utilisés pour le calcul de la densité sont légèrement surestimés.

Réseau basse température

Au vu de la typologie des bâtiments de la zone, résidentiels et soumis à la RE2020, il peut être intéressant d'étudier la mise en place d'un réseau très basse température. Ce type de réseau est en effet adapté pour les bâtiments faibles consommateurs possédant des émetteurs à basse température (planchers chauffants/rafraîchissants, radiateurs à basse température...).

Ce type de réseau basse température est un réseau « multipoints » qui consiste en une boucle d'eau très basse température et a pour avantage de permettre l'intégration de sources d'énergie renouvelables et de récupération basse température comme la géothermie superficielle ou la récupération de chaleur des eaux usées. Sur ces réseaux, la production de chaleur est décentralisée avec la mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) dans chaque bâtiment pour adapter la température de production aux besoins du bâtiment.



Sur ce type de réseau, les consommateurs de chaleur deviennent des sources potentielles pour le réseau. Un bâtiment équipé de panneaux solaires thermiques peut avoir besoin d'un appoint de chaleur apporté par le réseau en hiver ou le soir, et à l'inverse « déverser » dans le réseau son excédent de production solaire en été ou dans la journée. Un bâtiment climatisé par le réseau est également une source de chaleur, la livraison de froid étant, physiquement, un prélèvement de chaleur. De façon générale, ce type de réseau apporte un exutoire possible pour les bâtiments à énergie positive (produisant plus d'énergie qu'ils n'en consomment).

Mixité d'usage

Pour équilibrer un réseau et permettre une optimisation des moyens de productions, il est préférable d'avoir une mixité d'usage de la chaleur, permettant de lisser la courbe de demandes. La ZAC de la Bande du moulin, sera composée uniquement de logements individuels et collectifs pour lesquels les usages de la chaleur sont à priori similaires et simultanés. On considère que pour des logements, les besoins se trouvent principalement le matin de 6h à 10h et le soir de 18 à 24h. Il serait intéressant de pouvoir intégrer des bâtiments à usage tertiaire par exemple dans le lot de consommateurs pour fiabiliser le réseau.

En analysant la situation de la ZAC dans la commune avec l'outil EnRezo (Figure 5), on constate qu'il n'existe pas de bâtiment gros consommateur avec un usage différent, à proximité.

Par ailleurs, la zone d'opportunité identifiée sur EnRezo contenant des bâtiments tertiaires, se trouve à environ 600m de la ZAC. En considérant les besoins identifiés, est trop éloigné pour envisager un réseau global.

3.1.4 Coût

Le coût du réseau de distribution dépend essentiellement du diamètre et de l'environnement de pose. Il peut aller de 1 000 à 1 300€/ml en zone urbaine très dense à 300€/ml en zone en cours d'aménagement.

A ce coût il faut ajouter celui de la chaufferie qui va alimenter le réseau de chaleur. La ressource peut être soit géothermique, solaire thermique, elle peut être de la chaleur fatale ou encore issue de biomasse.

Au vu de la typologie unique de bâtiments (résidentiel individuel et collectif) prévus dans la ZAC et de sa situation sur la commune, il ne semble pas pertinent d'envisager le déploiement d'un réseau de chaleur pour la zone.

3.2 Solaire thermique

L'énergie solaire est une énergie renouvelable disponible partout qui peut être captée et valorisée de plusieurs manières pour la production de chaleur ou de froid :

- ▶ Par une **conception des bâtiments** qui permet d'exploiter les apports solaires naturels
- ▶ Par des **panneaux solaires thermiques**, qui permettent à l'énergie solaire de réchauffer un fluide caloporteur pour fournir de la chaleur pour le chauffage ou la production d'eau chaude sanitaire d'un bâtiment ou encore pour la production de froid.

La filière solaire thermique est peut déployée sur la région Bretagne, et le territoire de Redon Agglomération suit cette tendance. Ce potentiel est sous-utilisé malgré l'existence d'un potentiel réel dans les secteurs résidentiels comme le souligne le Schéma Directeur des Énergies Renouvelables (SDEnR) de l'agglomération de Redon. Sur la commune d'Allaire, la production actuelle de solaire thermique est de 52MWh/an avec un objectif de production de 288MWh/ an à horizon 2050. (SDEnR)

3.2.1 Le solaire passif

Les besoins en chaleur d'un bâtiment peuvent être réduits par une stratégie de conception du bâtiment :

- En hiver, la stratégie de conception aura pour objectif de maximiser les apports naturels d'énergie et de limiter les pertes liées à l'architecture. La réflexion porte sur le positionnement des ouvertures – en priorité au Sud où l'ensoleillement est maximum, la compacité du bâti pour un minimum de surface de déperditions vers l'extérieur, l'organisation des espaces (par exemple, en logement, les pièces de vie se trouveront au Sud pour un meilleur confort alors que les pièces à usage ponctuels seront préférentiellement au Nord).
- En été, la stratégie de conception aura pour objectif de minimiser les apports en énergie et de dissiper la chaleur. Les principales clés sont la mise en œuvre de protections solaires ou de végétalisations caduques au Sud, la ventilation nocturne pour évacuer la chaleur accumulée et l'inertie du bâtiment : la chaleur sera stockée dans la masse interne du bâtiment sans augmentation sensible de température, cette énergie sera déstockée la nuit grâce à la ventilation nocturne.

Le cahier des charges de la ZAC, sur la partie 3.1 précise déjà de maximiser des ouvertures en façade sud avec protection solaire pour limiter la pénétration des rayons l'été. Il déconseille les ouvertures en façade nord.

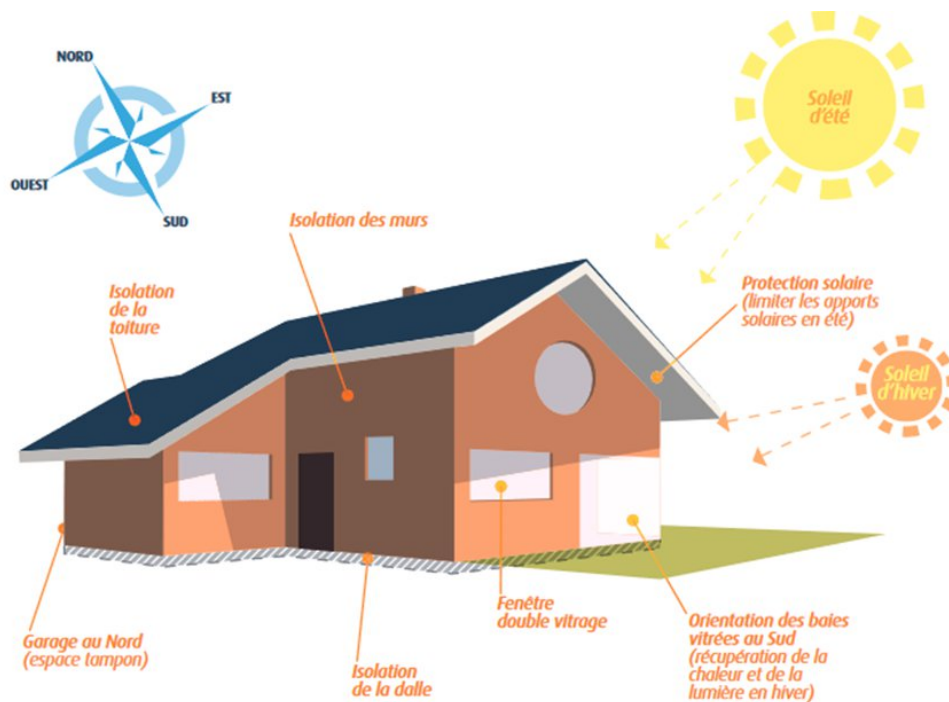


Figure 6. Principe de base d'une conception bioclimatique - Cerema

3.2.2 Le solaire thermique

Il existe différents types de systèmes solaires thermiques :

3.2.2.1 Chauffe-Eau Solaire Individuel (CESI)

Les CESI permettent la production d'eau chaude sanitaire (ECS) décentralisée au niveau d'un bâtiment. Ils permettent d'assurer 50 à 80 % des besoins moyens annuels d'ECS.

Les capteurs doivent dans l'idéal être orientés plein sud, avec une inclinaison de 30 à 45° par rapport à l'horizontale. Pour les maisons neuves, les panneaux peuvent être intégrés directement à la toiture. Une attention particulière doit être portée sur le dimensionnement des capteurs pour éviter tout surcoût à l'achat, risque de surchauffe ou détérioration de l'installation (usure des raccords ou du circulateur etc..).

Durée de vie : 20 à 30 ans pour les capteurs (garantis 10 ans) ; 15 à 20 ans pour un ballon performant avec suivi régulier ; 10 ans pour le circulateur et les sondes de température et la régulation (ADEME)

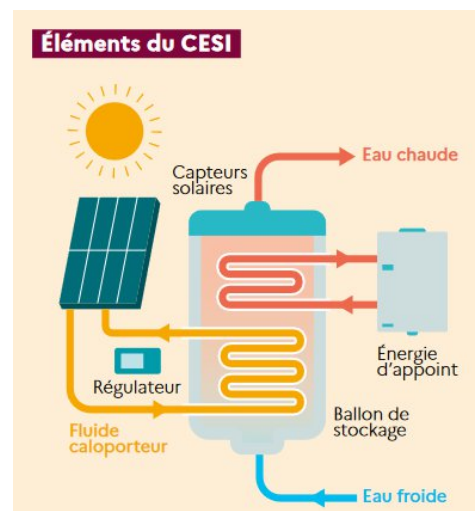


Figure 7. © Ademe

Avantage : Consomme peu d'électricité ; ne rejette pas de CO₂, ni de polluant. L'énergie utilisée pour fabriquer l'équipement est compensée par sa faible consommation à l'usage. Au total, il utilise beaucoup moins d'énergie qu'un ballon électrique ou qu'un chauffe-eau à gaz.

Cette installation nécessite toutefois un système d'appoint (résistance électrique, chaudière).

3.2.2.2 Le système solaire combiné (SSC)

Ce système permet de produire à la fois de l'eau chaude sanitaire et le chauffage d'un bâtiment.

Sa mise en place est intéressante dans une construction neuve, lorsque le logement est équipé d'un chauffage central. Il peut couvrir entre 40 et 60% des besoins de chauffage d'un foyer selon la localisation géographique.

Avantage : Comme les CESI, cette solution ne génère pas de pollution ni d'émission de gaz à effet de serre et sa rentabilité est d'autant plus intéressante que l'énergie d'appoint est chère.

L'appoint énergétique est indispensable pour le chauffage qui peut être réalisé par un insert, un poêle, une chaudière, ou une pompe à chaleur. Pour l'ECS, le complément est assuré le plus souvent par une résistance électrique.

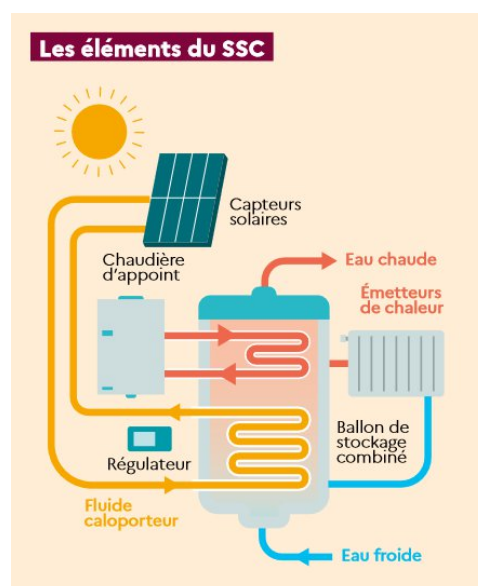


Figure 8. © Ademe

Le solaire collectif

On utilise généralement le terme « solaire thermique collectif » pour les applications à basse et moyenne température et particulièrement dans le secteur du bâtiment, des réseaux de chaleur et d'une partie des applications destinées à l'industrie. Le même type de systèmes que décrits précédemment existent pour les bâtiments collectifs. Cette solution serait à déployer sur les bâtiments collectifs de la ZAC et les logements intermédiaires.

3.2.3 Coût

Les coûts d'investissement varient en fonction de la technologie choisie. Le coût indicatifs moyen des équipements, pose incluse sont estimée par l'Ademe [4] :

Chauffe-eau solaire individuel : 900 à 1700€ HT/m² de capteur

Système solaire combiné : 1 100 à 1 300€ HT/m² de capteur

Des aides au financement de ce type d'installation existent notamment via le dispositif MaPrimeRénov'. Pour les installations solaires collectives, les maîtres d'ouvrages peuvent faire appel à des subventions de l'Ademe au travers du Fonds Chaleur

La durée moyenne de développement d'un projet solaire thermique va de 1 à 2 ans pour des petites installations à 3 à 5 ans pour les plus grandes installations.

Pour des installations en toiture dans le collectif et le tertiaire, le coût va de 135 à 200€ HT/MWh produit.

Le solaire thermique est une solution éprouvée qui permet de valoriser une énergie locale à l'échelle des bâtiments. La solution est particulièrement adaptée pour répondre aux besoins des bâtiments à fort besoin en eau chaude sanitaire que sont les logements.

[4] <https://librairie.ademe.fr/energies/7884-tout-comprendre-le-solaire-thermique-9791029724688.html>

3.3 Géothermie

Comme sur toute la région Bretagne, la commune d'Allaire ne possède pas de ressources géothermiques profondes. Il existe toutefois un potentiel de géothermie de surface (ou géothermie très basse énergie), adaptée pour des besoins de chaleur et de froid d'installations résidentielles collectives ou individuelles.

3.3.1 Géothermie de surface

La géothermie de surface (ou très basse énergie) consiste à utiliser la chaleur stockée dans les couches superficielles du sol (jusqu'à 200 mètres de profondeur) pour chauffer ou rafraîchir des bâtiments via des pompes à chaleur géothermiques. Ce type de géothermie est adapté à la Bretagne, où la température du sous-sol est suffisamment stable pour permettre une exploitation viable à faible profondeur. (SDEnR)

Le développement de la géothermie est freiné par son coût d'investissement élevé et son caractère unique car chaque projet doit être étudié au cas par cas. Malgré ces freins, la géothermie est un excellent investissement de long terme, avec un retour sur investissement sur 10 à 12 ans, une espérance de vie des pompes de 30 ans, une simple télédéclaration pour l'obtention de l'autorisation.

Cette technologie est particulièrement adaptée aux bâtiments publics (piscine, école...) où le besoin de place pour les forages est généralement disponible (parking, cours d'école). Elle est également applicable à des bâtiments privés (bureaux, logements, Ehpad...).

Une installation de géothermie de surface se compose de :

- d'un **dispositif de captage** de calories qui achemine l'énergie captée depuis le sous-sol vers la surface,
- d'une **pompe à chaleur (PAC géothermique)** qui valorise cette énergie en adaptant la température aux besoins,
- d'un **circuit secondaire** de valorisation, notamment les émetteurs,
- et d'un **dispositif de régulation** qui permet de contrôler le fonctionnement de la pompe à chaleur et d'en optimiser les performances.

Sur toute la commune d'Allaire, les installations de géothermies sont éligible au régime de la géothermie de minime importance (voir Figure 11).

Elles concernent deux types de systèmes, dont les caractéristiques sont les suivantes :

► Les installations **en boucle fermée** (sondes géothermiques verticales ou horizontales)

- d'une profondeur comprise entre 10 et 200 mètres ;
- d'une puissance thermique prélevée dans le sous-sol qui ne dépasse pas 500 kW ;
- dont la température du fluide caloporteur qui retourne vers les échangeurs géothermiques fermés est comprise entre - 3 °C et + 40 °C.

Cette technologie permet de bénéficier de bon rendements des pompes à chaleur et nécessite peu d'entretien.



Figure 9. Sondes géothermiques en boucle fermée verticales [5]

► Les installations **en boucle ouverte** (captage sur eau souterraine) :

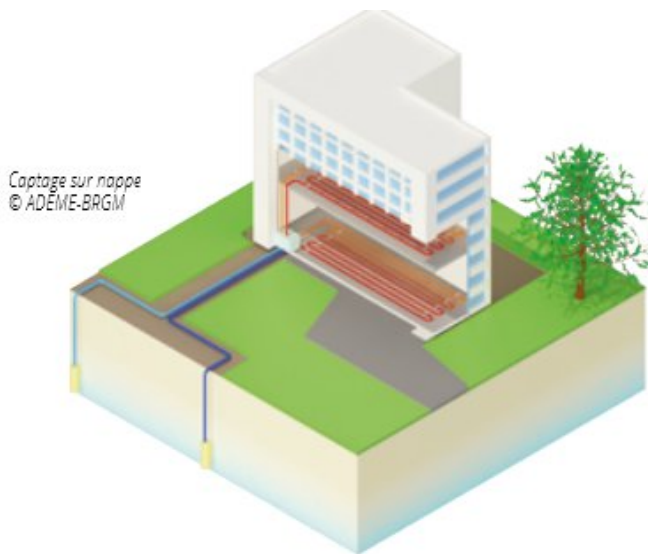


Figure 10. Sonde géothermiques en boucle ouverte [5]

- une profondeur comprise entre 10 et 200 mètres ;
- une puissance thermique prélevée dans le sous-sol qui ne dépasse pas 500 kW ;
- la température de l'eau prélevée doit être inférieure à 25 °C ;
- les eaux prélevées doivent être réinjectées dans le même aquifère et la différence entre les volumes prélevés et réinjectés doit être nulle ;
- la température maximale de réinjection ne doit pas dépasser 32 °C ;
- les débits pompés doivent être inférieurs à 80 m³/h ;
- la variation de la température induite dans la nappe dans un rayon de 200 mètres doit être inférieure à 4 °C.

Les PAC géothermiques permettent, en plus de la production de chaleur, de produire du froid soit passivement (par geocooling), soit activement (production de froid active - climatisation).

[5] Vademecum GMI : <https://www.geothermies.fr/sites/default/files/inline-files/vademecum-GMI-Basse%20Def.pdf>

La géothermie est encore très peu répandue sur le territoire de l'agglomération avec 0.66% des habitations résidentielles équipées, ce qui représente 174 logements (SDEnR).

D'après les données du BRGM (Figure 11), il existe 8 installations réalisées de géothermie de surface sur la commune d'Allaire dont deux sur échangeurs fermés (sonde) et 6 sur échangeurs ouverts (nappe).

En ce qui concerne les installations sur résidentiel, l'étude effectuée avec l'AFPG dans le cadre de la production du Schéma directeur des énergies renouvelables de Redon Agglomération, indique l'existence de 4 points équipés de géothermie sur Allaire, représentant une production de 46MWh en 2023. (SDEnR)

Le prévision de gisement pour la filière géothermie sur la commune d'Allaire est de 0,35GWh à horizon 2030 et 0,95 à horizon 2050.

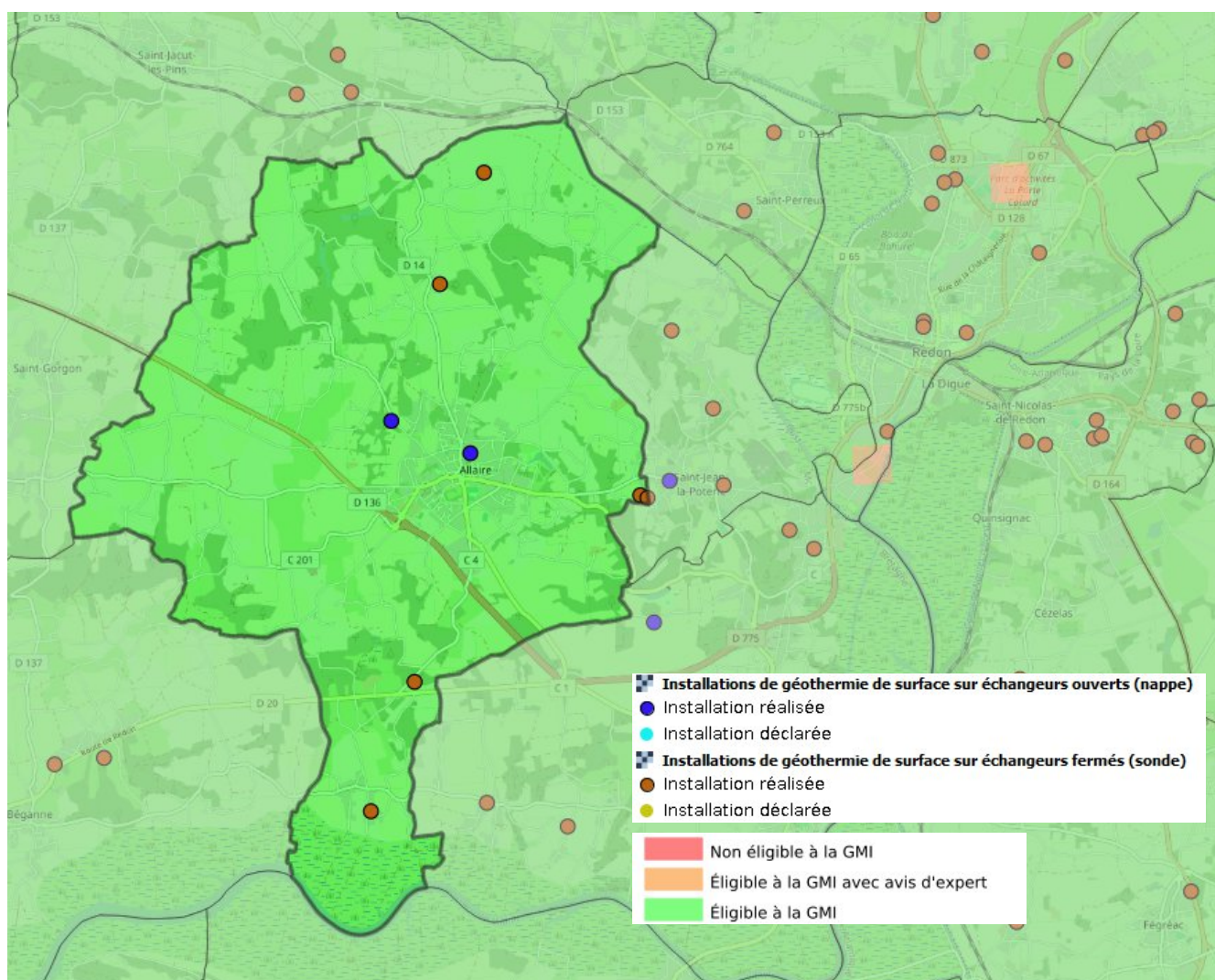


Figure 11. Installations de géothermie de surface et zones GMI de la commune d'Allaire – Données du BRGM © Cerema

3.3.2 Géothermie sur installation dédiée

Dans le cas de la Bande du Moulin, la géothermie peut être valorisée :

- **à l'échelle du bâtiment** : Pour les lots individuels, chaque propriétaire peut effectuer des forage sur sa parcelle pour mise en place d'un système de pompe à chaleur géothermique.

- **À l'échelle du groupe de bâtiment pour les logements collectifs et intermédiaires** : Un seul forage peut être réalisé puis chaque bâtiment du lot peut se raccorder à la boucle ainsi créée. Soit un système unique est prévu pour plusieurs groupes de bâtiments avec une seule chaudière. Soit, dans le cas de groupe de bâtiments neufs, il est possible de mettre en place un système centralisée avec une chaudière pour l'ensemble du groupe de bâtiment avec un réseau secondaire qui circule entre les bâtiments.

L'avantage de cette technologie est que la ressource est non intermittente, et la durée de vie de ces installation est de plusieurs dizaines d'années. La faible variation de température de la ressource géothermale permet aux PAC géothermiques de fonctionner en permanence avec un COP élevé.

Il est nécessaire de faire appel à un professionnel qualifié pour réaliser l'étude de la faisabilité et pour la réalisation de l'installation.

3.3.3 Coût

Le coût d'un système de géothermie de surface varie surtout en fonction de la profondeur du captage sous terre et de la puissance installée.

En moyenne, en 2020, il faut compter entre 15 000 € et 20 000 € (hors aides)

Pour un particulier, la puissance moyenne d'une pompe à chaleur s'élève à 8 kW pour des besoins en chaleur de 16 MWh/an. Pour une maison de 130 m² occupée par 4 personnes, les coûts moyens sont les suivants [6]:

	Géothermie sur échangeurs compacts géothermiques	Géothermie sur sondes géothermiques verticales	Géothermie sur eau de nappe superficielle
Profondeur	0 à 10 m	10 à 200m	0 à 10m
Captage	3 000 €	9 000 €	4 000 €
PAC	10 000 €	10 000 €	10 000 €
Total	13 000 €	19 000 €	14 000 €
Total après déduction de MaPrimeRénov	9 900€	14 500€	11 000€

Pour les sondes, il faut compter de 80 à 110 €/mètre linéaire de forage, et pour une nappe entre 400 et 1 000 €/mètre linéaire de forage, sachant que, dans ce cas, la réglementation impose la réalisation d'au moins deux forages (l'un de production et l'autre de réinjection) L'achat et l'installation de la PAC et de ses équipements est compris entre 500 et 1 000 € HT/kW.

Les coûts de fonctionnement sont de l'ordre de 1 à 3 €/m²par an, et les coûts d'entretien pur maintenir la performance de la pompe à chaleur varient de 150 à 250€.

[6] Questions-réponses sur les géothermies – Syndicat des énergies renouvelables SER (2024)

Subventions pour les particuliers

Pour les particuliers, le programme MaPrimeRénov' permet de financer l'achat de pompe à chaleur géothermique à hauteur de 1 200€ à 10 000€ en fonction du type d'équipement et des revenus du foyer. En plus des aides nationales, des aides locales peuvent exister pour les particuliers

Pour l'habitat collectif, les installations collectives de pompes à chaleur géothermiques sont éligibles aux aides du Fonds Chaleur de l'Ademe.

La ressource géothermique de surface est disponible au niveau de la ZAC bande du Moulin et est une solution pertinente pour répondre aux besoins en chaleur des logements.

3.4 Aérothermie

3.4.1 Le systèmes de pompes à chaleur

Les PAC aérothermiques exploitent la chaleur présente dans l'air pour produire du chaud et/ou du froid renouvelables, dans les maisons individuelles, les logements collectifs et les bâtiments tertiaires.

On distingue :

- Les **PAC air/air** qui échangent la chaleur entre l'air extérieur et l'air intérieur par un système de ventilo-convecteurs.
- Les **PAC air/eau** qui échangent la chaleur entre l'air extérieur et l'eau du réseau de chauffage du logement et/ou de l'eau chaude sanitaire. L'utilisation d'émetteurs basses températures (radiateurs ou plancher chauffant) permettant l'obtention d'un meilleur rendement de l'installation.

Principe des pompes à chaleur sur air extérieur

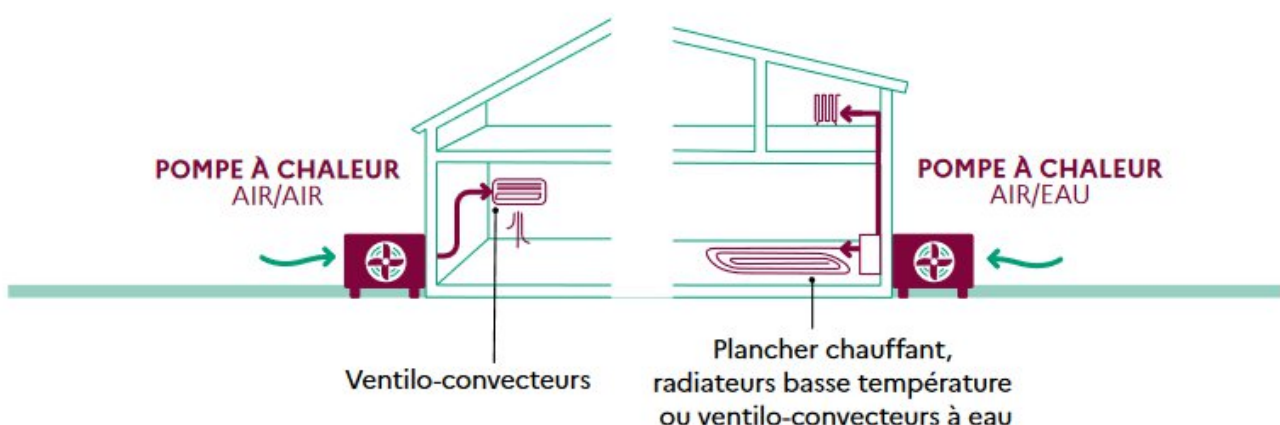


Figure 12. Schéma de principe d'une pompe à chaleur © Ademe

La performance énergétique d'une pompe à chaleur est mesurée en laboratoire par son **coefficient de performance (COP)** : il correspond au rapport entre l'énergie produite et l'énergie consommée pour faire fonctionner la PAC. Le règlement européen sur l'écoconception exige un COP minimum de 3 pour la mise sur le marché des PAC, autrement dit elles doivent a minima produire 3 fois plus d'énergie qu'elles n'en consomment pour chauffer un bâtiment. Plus le COP est élevé, plus la pompe à chaleur est performante et plus la facture d'énergie est réduite.

Certains modèles sont réversibles, c'est-à-dire qu'ils peuvent produire du chaud ou du froid. La performance d'une PAC aérothermique se dégrade lorsque la température extérieure diminue. Une température très basse (à partir de - 10 ou de - 20 °C selon les modèles) peut même la rendre inutilisable. Un appoint de chauffage peut donc être nécessaire afin d'apporter un confort thermique suffisant.

Inconvénient : Comparées à la climatisation par géothermie, les PAC aérothermiques participent aux îlots de chaleur urbains. Elles peuvent générer des nuisances sonores et visuelle en fonction de leur implantation (façade par exemple).

3.4.2 Coût

Le coût moyen de fourniture et d'installation d'une pompe à chaleur air/eau (10-12kW) est de l'ordre de 15 000€ HT en moyenne, pour une pompe à chaleur air/air (10-12kW) celui-ci est d'environ 11 000€.

Il est important de ne pas surdimensionner la pompe pour ne pas consommer plus d'électricité que nécessaire.

Les solutions de pompes à chaleur aérothermiques sont des solutions décentralisées pertinentes à étudier dans le cadre de la Zac de la Bande du Moulin.

3.5 Récupération de chaleur fatale - industrie et eaux usées

La chaleur dite « fatale » est une énergie qui est perdue lors du fonctionnement d'un procédé de production ou de transformation. La récupération et la valorisation de la chaleur fatale issue de l'industrie constituent un potentiel d'économies d'énergie à exploiter.

3.5.1 Chaleur fatale industrielle

La chaleur fatale issue de procédés industriels peut être valorisée soit en interne pour répondre à des besoins propres à l'entreprise, soit en externe pour répondre à d'autres besoins en chaleur via un réseau de chaleur.

Sur la commune d'Allaire, le projet EnRezo a identifiée l'industrie « Entreprise CDL Celluloses de la Loire » au sud du bourg, avec un potentiel gisement de chaleur fatale valorisable. Ce gisement de chaleur fatale est une première estimation d'un gisement disponible (Source Efficacity) qui nécessite toutefois de consulter l'industriel concerné pour évaluer la faisabilité d'une valorisation.

L'utilisation de la chaleur fatale d'un industriel présent sur le territoire nécessiterait la création d'un réseau de chaleur. Or, la densité thermique n'est pas suffisante pour cet équipement sur la ZAC.

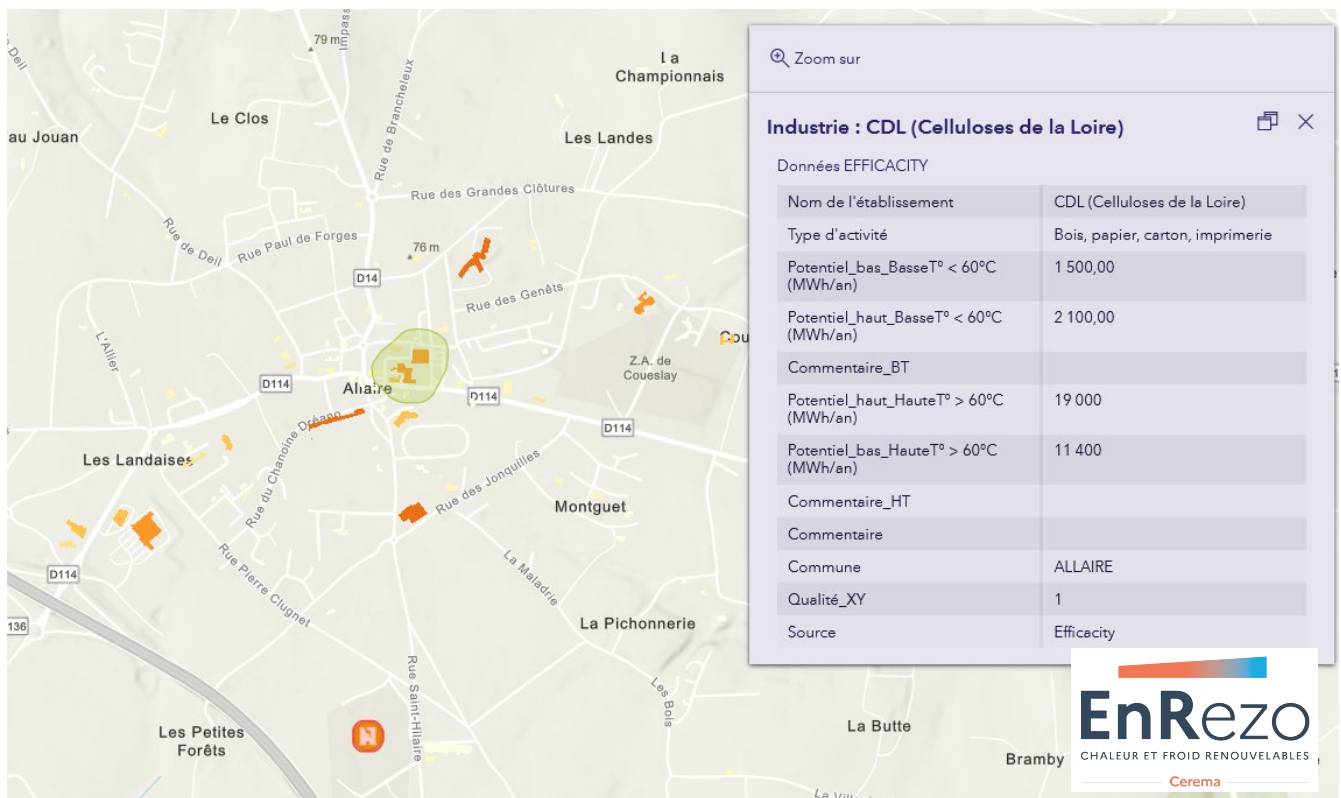


Figure 13. Capture du projet EnRezo-EnR&R mobilisables sur Allaire - © Cerema

3.5.2 Chaleur fatale des eaux usées - cloacothermie

La **cloacothermie** consiste en la récupération de l'énergie disponible dans les eaux usées grâce à un échangeur thermique qui transfère l'énergie vers une pompe à chaleur pour porter un liquide à la température souhaitée pour répondre à des besoins en chaleur. En effet, la température des eaux usées varie entre 12 et 20°C. La cloacothermie fonctionne sur le même principe que la géothermie de surface de basse température. Elle peut permettre de répondre à des besoins en chaleur l'hiver ou de rafraîchissement en été.

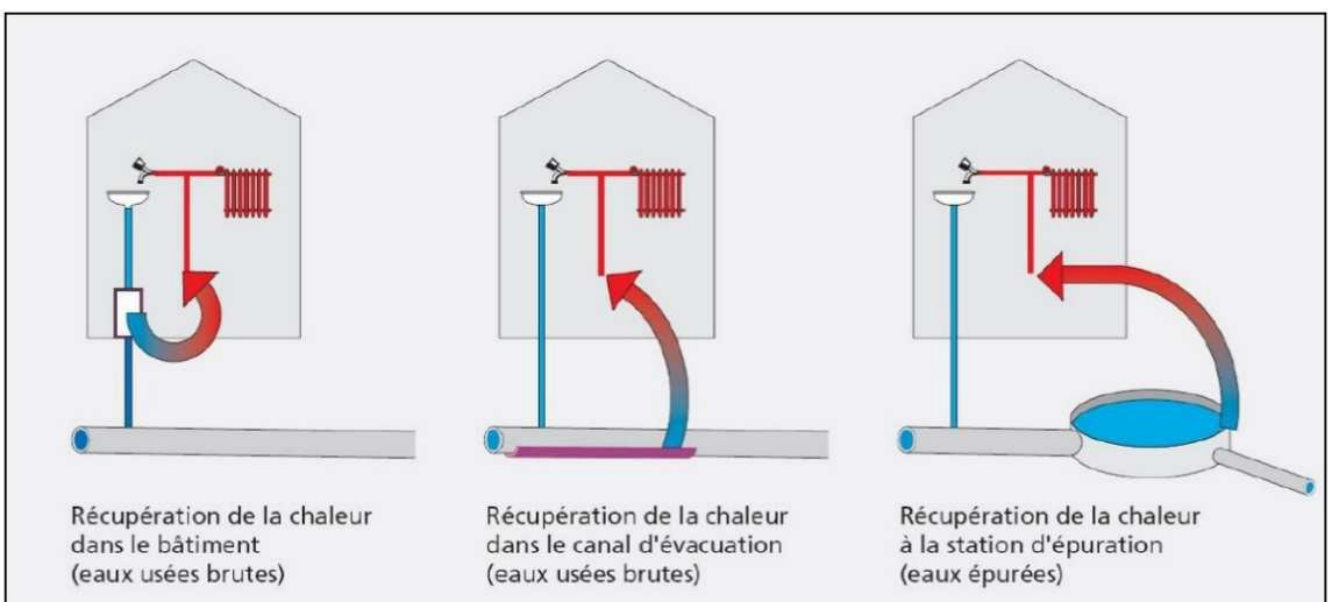


Figure 14. Les différentes sources de récupération de chaleur des eaux usées - © ADEME

Aujourd'hui, différentes technologies de cloacothermie éprouvées existent :

- Au pied d'un immeuble afin de réutiliser les calories de ses eaux usées pour son propre usage
- Sur le réseau d'assainissement public. L'échangeur thermique peut être directement intégré au réseau d'assainissement (in-situ) en étant conçu avec l'ouvrage ou ajouté ultérieurement ou alors une dérivation totale ou partielle du flux des effluents bruts est mise en place vers un échangeur déporté (ex-situ)
- En fin de parcours sur la station d'épuration pour les besoins internes de la station ou un éventuel utilisateur situé à proximité

Pour les solutions sur immeubles de logements collectifs, il existe des systèmes de pompe à chaleur sur eaux grises qui ont souvent une température avoisinant les 20-25°C, avec une séparativité des réseaux entre toilettes et autres eaux usées. Ces systèmes nécessitent un local technique d'environ 40 à 50m² en sous-sol de bâtiment, et un entretien régulier. Cette solution ne permet pas de couvrir l'intégralité des besoins en ECS et chauffage mais peut en assurer plus de 50%.

Elle est pour autant peu répandue et est souvent liée à des bâtiments ou à des quartiers plus conséquents notamment en complément d'un réseau de chaleur ou d'un autre système de production de chaleur.

Ainsi, comme pour la solution réseau de chaleur, il ne semble pas pertinent de retenir cette solution pour la ZAC du moulin.

3.5.3 Coût

La pertinence technico-économique de l'opération dépend de la taille et du contexte du projet. Il est nécessaire de faire appel à des professionnels compétent pour évaluer la faisabilité du projet.

Dans le cas du procédé avec PAC, il faut prévoir un investissement de 100 000€ pour 30 logements. avec un temps de retour de vingt ans sans subvention (soit environ dix ans en intégrant les nombreuses aides, crédits et certificats d'économie d'énergie). L'amortissement est de l'ordre de trente ans pour 15 logements et de moins de douze ans pour 200 logements, sans subventions.

Considérée comme une énergie renouvelable, elle donne droit à des subventions de l'Ademe ou des fiches CEE.

La solution de récupération de chaleur fatale n'est pas retenue pour la ZAC de la Bande du Moulin.

3.6 Biomasse

Le bois énergie représente la première source de production d'énergie renouvelable locale en Bretagne, avec près d'un tiers de la production. Le bois énergie présente l'avantage d'être une énergie continue.

Le bois énergie repose sur l'utilisation du bois sous différentes formes (bûches, plaquettes, granulés, déchiqueté, etc) pour produire de la chaleur ou de l'électricité. Le bois est actuellement largement utilisé de manière informelle pour les usages domestiques.(SDE)

Il existe trois types de gisements principaux :

- ▶ les haies
- ▶ les forêts
- ▶ les déchets

Les « déchets » biomasse peuvent être issus du bocage, de la forêt, de broyat de palettes, de parcs et jardins, de bords de routes... c'est une ressource disséminée dont une partie est planifiable (possibilité de passer des accords avec des services d'entretien des routes pour plateforme de dépôts avant déchetterie par exemple) contrairement au bois d'opportunité (abattages suite tempête, etc). (SDEnR)

La Bois énergie représente aujourd'hui la deuxième source de production d'énergie renouvelable sur le territoire de Redon Agglomération avec 36 % du mix énergies renouvelables, soit 76 GWh. La filière possède de nombreux acteurs et nécessiterai d'être structurée pour organiser l'exploitation de la ressource. Elle présenter par ailleurs un potentiel de développement sur le territoire de Redon Agglomération qui a un levier d'augmentation de la ressource par la plantations de nouvelles haies bocagères. Il est toutefois primordial de maintenir une gestion durable de la ressource pour garantir sa régénération. Les filières doivent encourager les propriétaires et exploitants à faire le choix de conduire les haies et forêts vers une production, en parallèle d'un travail sur la ressource par la plantation et densification. (SDEnR)

La valorisation de la ressource bois énergie se traduit par l'existence d'installations de chaudières collectives. Cette ressource est toutefois également valorisée au travers de poêles et cheminée individuelles. Par cet usage, il est difficile d'évaluer la proportion de combustible d'origine locale.

Le Schéma Directeur de l'agglomération a identifié les potentiels biomasse pour 2030 et 2050 suivants :

Commune d'Allaire	Gisement énergie estimé à 2030 (GWh)	Gisement énergie estimé à 2050 (GWh)
Bocage	2,3	3,5
Forêts	2	2,5
Déchets biomasse	1,9	

Le bois-énergie peut être utilisé soit à l'échelle d'un quartier, via une chaufferie collective alimentant un réseau de chaleur ; soit à l'échelle du bâtiment (immeuble collectif ou maison individuelle).

Nous avons vu précédemment que la solution réseau de chaleur ne semble pas pertinente dans le cas de la ZAC de la Bande du Moulin. Nous allons donc regarder plus en détail les solution disponibles pour alimentation en chaleur à l'échelle du bâtiment.

3.6.1 Solutions à l'échelle du bâtiment

Le bois peut être utilisé au niveau individuel comme ressource de production de chaleur principalement via les moyens suivants :

- Poêle à bûche ou à granulés
- Chaudière à bûches et à granulés
- Inserts et foyers fermés

3.6.2 Coût

Les installations à granulés sont particulièrement sensibles au prix des combustibles
Récapitulatif des critères par type d'installation pour l'année 2022 [7] :

	Poêle à bûches	Poêle à granulés	Chaudière à bûches	Chaudières à granulés
Rendement %	73	85	85	87
Durée de vie (an)	25	20	17	17
Investissement (€ TTC)	3900 à 4600	4 800 à 5 500	12 000	13 300
Exploitation (€ TTC/an)	150	150	250	250
Prix du combustible (€ TTCMWh)	44	75 à 130	38 à 41	63 à 120

Sur l'année 2022 on a toutefois observée une augmentation significative de coût des granulés par rapport à 2021 ce qui a entraîné une évolution de l'OPEX de l'ordre de +60%.

Le bois-énergie est une solution pertinente à prendre en compte, elle peut notamment servir d'appoint à d'autres systèmes d'énergies renouvelables.

[7] Évolution des coûts des énergies renouvelables et de récupération entre 2012 et 2022, Ademe (2024)

3.7 Photovoltaïque

L'énergie solaire peut être valorisée pour la production d'électricité via l'utilisation de **panneaux photovoltaïques** permettant de convertir la lumière en électricité. Cette électricité produite peut être utilisée pour couvrir directement une partie des besoins en électricité des bâtiments sur lesquels sont positionnés les capteurs (système autonome), soit réinjectée dans le réseau (lorsque le système y est raccordé) ou encore stockée (système encore peu développé).

Il y a encore peu de temps, le surplus d'électricité photovoltaïque était racheté à 12 c€/kWh. Aujourd'hui, ce tarif est tombé à 4 c€/kWh, tandis que l'électricité achetée au réseau reste autour de 21 c€/kWh. Ainsi, autoconsommer son énergie devient nettement plus avantageux que la vente de surplus. Les systèmes de pilotages de la consommation deviennent primordiaux pour faire coïncider les consommations avec la production d'électricité.

Une baisse des primes à l'autoconsommation va être compensée par une baisse de la TVA sur l'installation de panneaux qui passera à 5,5% pour les installations de moins de 9kWc.

L'autoconsommation collective repose sur le principe de la répartition de la production entre un ou plusieurs consommateurs proches physiquement. L'opération d'autoconsommation est collective lorsque la fourniture d'électricité est effectuée entre un ou plusieurs producteurs et un ou plusieurs consommateurs finals liés entre eux au sein d'une personne morale et dont les points de soutirage et d'injection sont situés dans le même bâtiment, y compris des immeubles résidentiels. Elle peut être qualifiée « d'étendue » lorsque l'électricité fournie est d'origine renouvelable, les points de soutirage et d'injection pouvant être situés sur le réseau public de distribution d'électricité.

Installations en toitures résidentielles

Pour des installations en toiture résidentielles chez les particuliers de 2 à 3kW une surface de panneaux de 15 à 20 m² sera nécessaire. Le panneau photovoltaïque produira 150 kWh d'électricité par m² et par an.

3.7.1 Coût

Prix moyens des installations photovoltaïques (Mars 2025) :

Puissance de l'installation	3 kWc	6 kWc	9 kWc
Prix moyen (TTC)	6 000 € à 8 000 €	10 000 € à 13 000 €	15 000 € à 17 000 €
Détails	Prime déduite, raccordement inclus	Tarifs pour des installations de taille moyenne, prime déduite	Pour des installations plus grandes avec prime déduite

Les tarifs varient en fonction de la qualité des panneaux et des onduleurs, les marques (européennes ou non, difficulté d'installation (en toit intégré ou surimposition) et les garanties, en particulier de l'onduleur.

Aussi des panneaux solaires photovoltaïques peuvent être envisagés pour alimenter des bornes de recharges de véhicules électriques des zones de stationnement de la ZAC.

La production photovoltaïque est pertinente sur les toitures des futures maisons de la ZAC, permettant de produire une électricité locale et renouvelable. L'autoconsommation est encouragée et constitue une solution intéressante.

3.8 Éolien

Les régions Bretagne et pays de la Loire, exposées aux vents dominants de l'Atlantique, profitent d'un potentiel éolien significatif. Cependant, l'éolien terrestre rencontre régulièrement des résistances locales, notamment en matière de bruit et d'impact sur le paysage. Il existe toutefois des exemples dans les pays de Vilaine, de projets de parcs éoliens citoyens.

Le Schéma Directeur des Énergies renouvelables de Redon Agglomération a identifié quelques Zones d'Implantation Potentielles (ZIP) sur le sud de la commune d'Allaire. Celles-ci sont petites, morcelées et associées à une faible probabilité d'exploitation d'ici 2050. L'équivalent potentiel de puissance associé est de 7,5 MW avec une production espérée sur une année de 15GWh.

La ZAC de la Bande du Moulin se trouve dans une zone urbaine et n'est donc pas adaptée pour l'intégration de grandes éoliennes car la règle d'implantation exige une zone de recul de 500m des habitations.

3.8.1 Petit éolien

Le micro éolien ou petit éolien, concerne des installations de petite taille, adaptées au milieu urbain et de puissances inférieures à 50kW.

Il existe deux systèmes :



Éolienne à axe horizontal



Éolienne à axe vertical

Le marché des petites éoliennes n'est pas encore assez mature (de nombreux projets sont encore en phase de recherche et développement) pour bénéficier d'économies d'échelle. Frais d'installation et raccordement compris, il est souvent cité une fourchette allant de 5 000 € à 10 000 € le kW installé, ce qui en fait une technologie de production électrique chère.

Une petite éolienne d'une puissance de 1,5 kW a une production annuelle qui varie entre 2500 et 5000 kWh, selon l'exposition au vent. Le temps de retour sur investissement sera compris entre 25 et 50 ans.

La ZAC de la Bande du Moulin n'est pas adaptée pour l'implantation de sources de production d'énergie éolienne.

3.9 Méthanisation

La méthanisation consiste en la production de biogaz à partir de la fermentation des déchets organiques.

Ces déchets organiques peuvent être issus :

- ▶ Des effluents d'élevage : fumier, paille, culture
- ▶ Des industries agroalimentaires : co-produits de transformation provenant des abattoirs, des laiteries, des conserveries...,
- ▶ Les collectivités : déchets verts, déchets ménagers, boues d'épuration...

Le biogaz peut ensuite être utilisé pour produire de l'électricité (cogénération), de la chaleur (cogénération) ou être injecté dans le réseau de gaz naturel (injection).

Le SDEnR de l'agglomération de Redon fait état d'un rapide développement de la méthanisation sur le territoire, porté par des agriculteurs individuels, malgré des résistances locales dues aux nuisances (odeurs, circulations de camion) et craintes concernant l'impact sur l'environnement (conséquences sur les sols, sur les nappes phréatiques, risque en cas de fuite...).

Celui-ci recense, sur la commune d'Allaire, une installation valorisée par cogénération mise en service en 2023 d'une puissance moyenne de 250kWe installé pour une production de 1,9GWh. Aucune Zone d'Accélération des Énergies Renouvelable « Biométhane » n'a été identifiée par la commune

Le biométhane étant souvent ré-injecté dans le réseau de gaz classique, avec aucune garantie de l'utilisation directe au niveau de la ZAC, il n'est pas pertinent d'étudier particulièrement la solution à l'échelle de la ZAC de la Bande du Moulin.

3.10 Hydroélectricité

La commune d'Allaire possède une frontière sud donnant sur la Vilaine . La ZAC Bande du Moulin est toutefois trop éloignée de tout cours d'eau à potentiel pour envisager la production d'énergie hydroélectrique.

4 SCÉNARIO D'OPPORTUNITÉ DE DÉVELOPPEMENT DES ENR

4.1 Évaluation économique

L'évaluation économique des solutions se fait à partir de l'étude de l'Ademe sur l'Évolution des coûts des énergies renouvelables et de récupération en France entre 2012 et 2022.

L'analyse des coûts des filières repose sur le **Levelized Cost of Energy (LCOE)**, un indicateur clé pour calculer et comparer le prix de l'énergie produite par différentes technologies. Exprimé en €/MWh, le LCOE prend en compte tous les coûts actualisés de production d'énergie sur la durée de vie de l'équipement.

4.1.1 Pour le résidentiel individuel

La Figure 15 représente sur un graphique les différents LCOE par type d'EnR pour les systèmes de chauffage domestiques centralisés. L'analyse du LCOE permet une première approche sur le coût des énergies. Le LCOE ne rend pas compte de certains services rendus comme la capacité de produire à la demande, de fournir une énergie directement injectable sur le réseau ou la présence de stockage qui permet à une centrale de produire de l'énergie lorsque la ressource n'est plus disponible. Ainsi **le LCOE ne peut être un critère unique** pour choisir une technologie plutôt qu'une autre. Ces coûts ne prennent pas en compte les aides publiques ou les CEE.

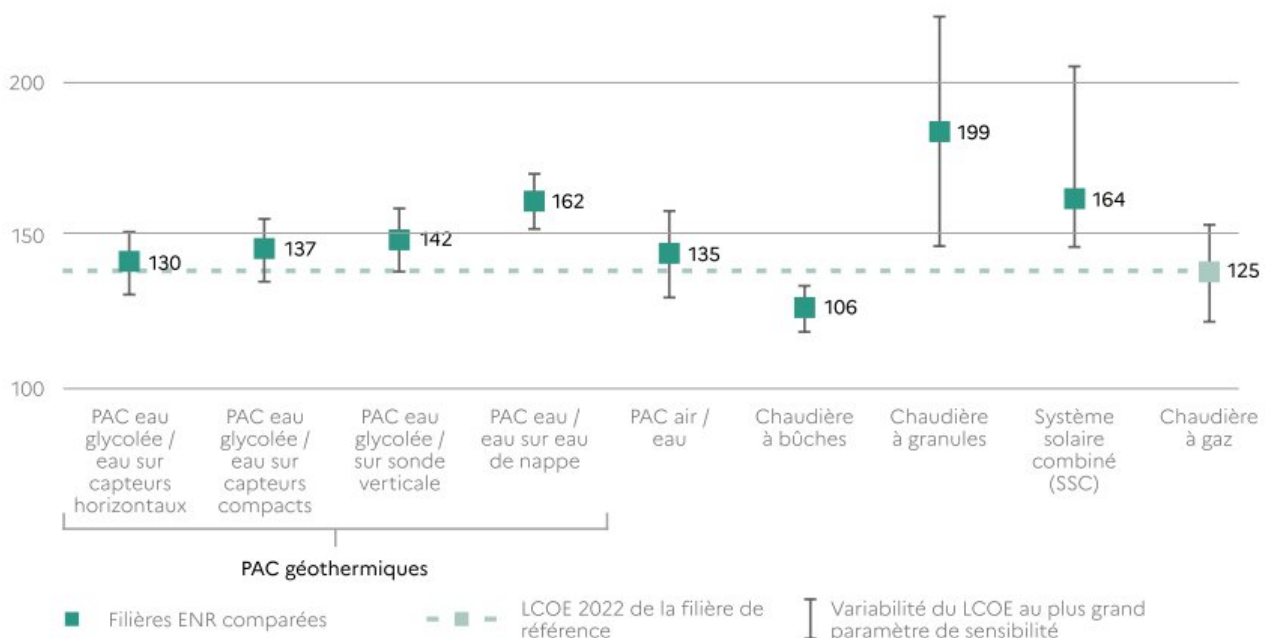


Figure 15. Comparaison des LCOE des systèmes de chauffage domestique centralisés (ces systèmes desservent plusieurs pièces à parti d'une source unique) en 2022 (€/2022TTC/MWh)

On constate que dans l'hypothèse d'une augmentation du prix du gaz par rapport à 2022, une installation de géothermie sur sonde et sur aquifère apparaît compétitive par rapport à une chaudière gaz.

Figure 16. Comparaison des LCOE des systèmes de chauffage domestique décentralisés (chaque pièce ou zone est équipée d'un appareil de chauffage indépendant) en 2022 (€TTC/MWh).

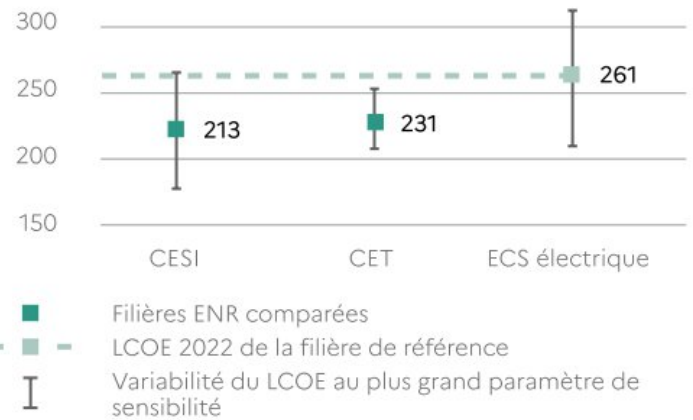
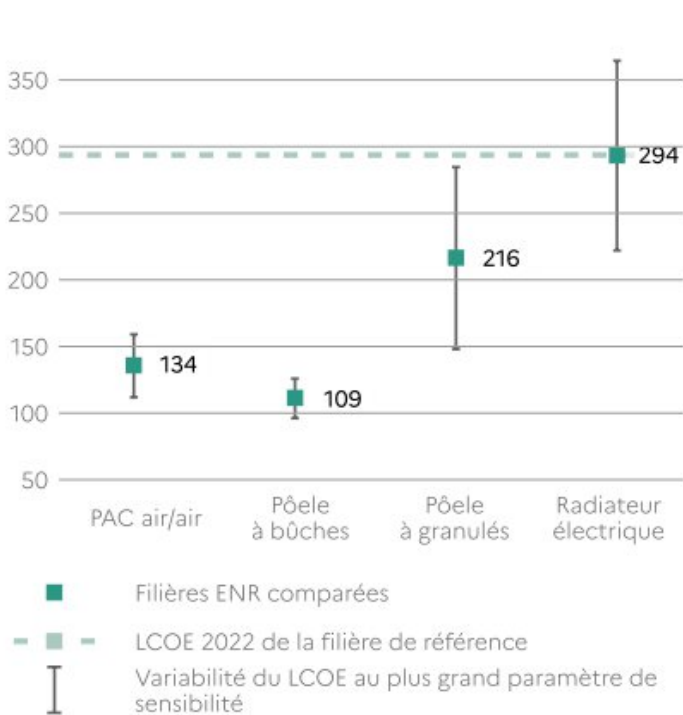


Figure 17. Comparaison des LCOE des systèmes d'eau chaude sanitaire en 2022 (€2022 TTC/MWh).

En ce qui concerne les coûts de production des énergies renouvelables en autoconsommation, ils sont détaillés dans le graphique ci-dessous :

Comparaison des LCOE des solutions de production d'électricité en autoconsommation en 2022 (€TTC/MWh)

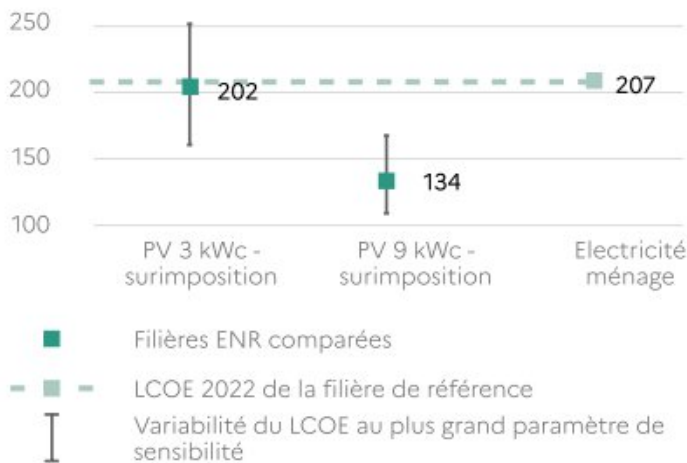


Figure 18. Comparaison des LCOE de la production d'électricité pour de l'autoconsommation résidentielle en 2022 (€TTC/MWh).

Les filières ENRR électriques ont présenté des niveaux de coûts plus faible que les filières de référence, en raison de l'augmentation des prix de l'énergie. Pour ce qui est de la production de chaleur, des alternatives renouvelables de chauffage domestique se montrent économiquement intéressantes face à l'augmentation des coûts des solutions conventionnelles.

L'Ademe effectue une comparaison de coûts annualisés de l'énergie dans une maison individuelle. Le coût annuel est calculé pour les besoins énergétiques, chauffage et Eau Chaude Sanitaire (ECS), d'une maison individuelle de 100 m² située au centre de la France métropolitaine et avec un diagnostic de performance énergétique (DPE) de classe D soit des consommations de chauffage de 20 000 kWh/an et d'ECS de 1 500 kWh/an.

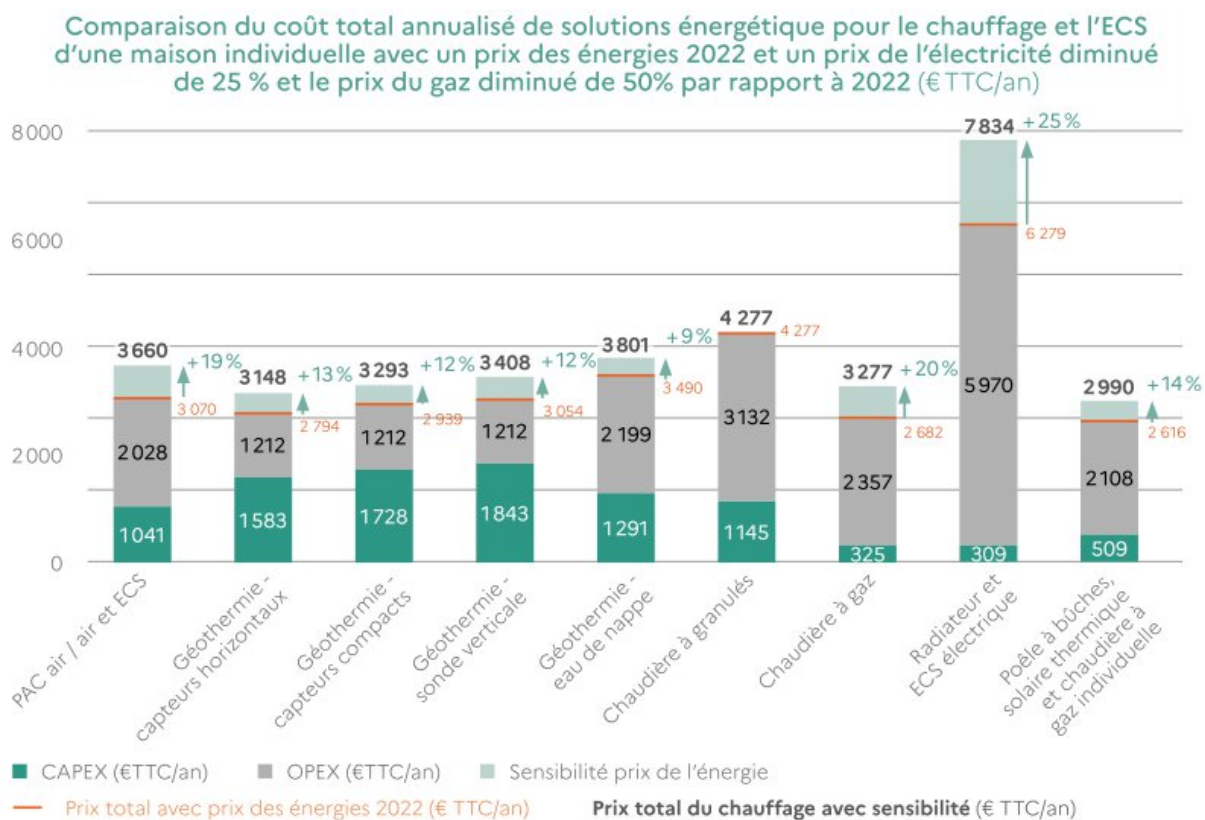


Figure 19. Comparaison du coût total annualisé de solutions énergétiques pour le chauffage et l'ECS d'une maison individuelle selon le prix du gaz et de l'électricité (€2022 TTC/an).

On constate à nouveau que les installations de géothermie sont compétitives. L'avantage de la stabilité de la ressource en fait une énergie intéressante pour l'alimentation en chaleur d'une maison.

4.1.2 Pour le collectif

De la même manière, une première évaluation se fait à partir des comparaisons des LCOE des systèmes de chauffage dans le collectif :

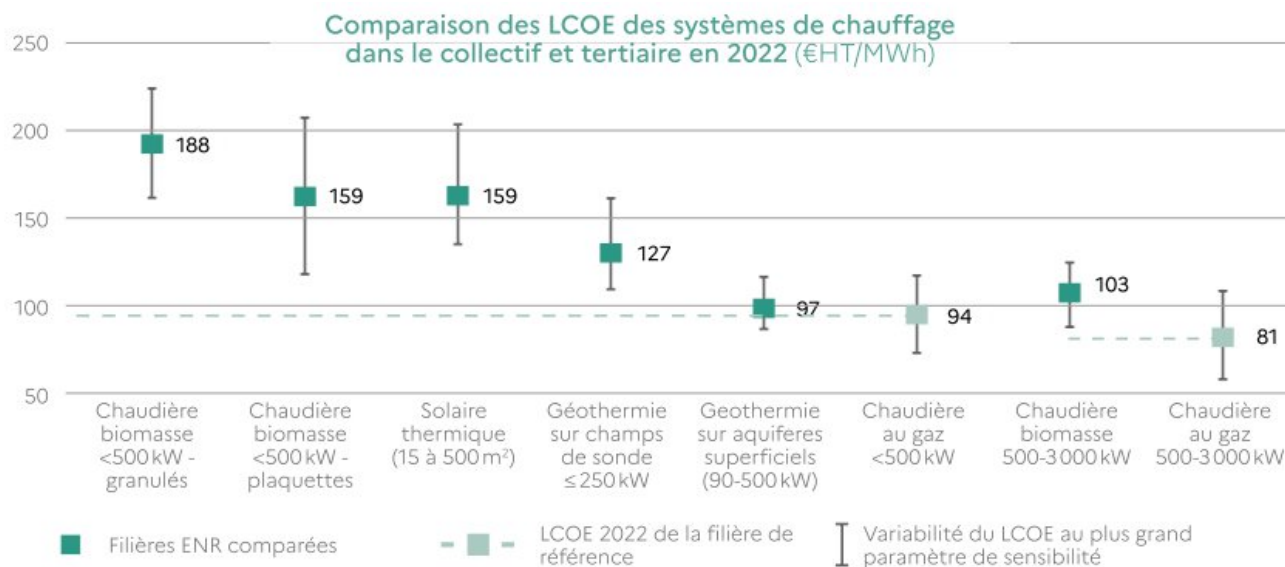


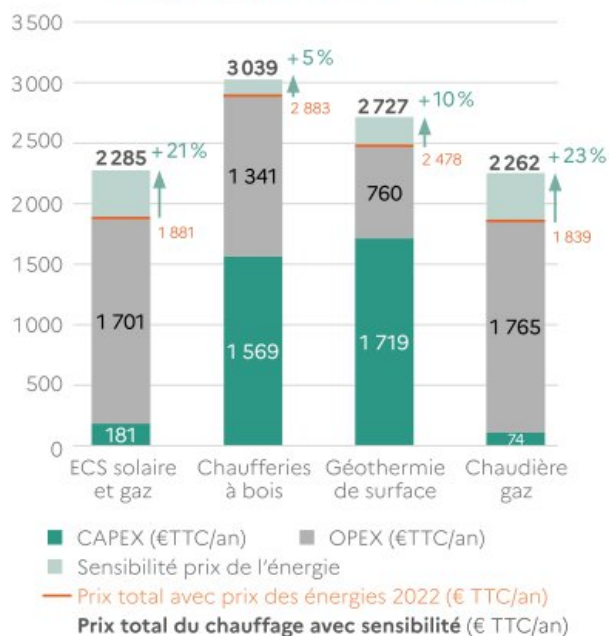
Figure 20. Comparaison des LCOE des systèmes de chauffage dans le collectif et tertiaire en 2022 (€2022 HT/MWh).

Dans le segment tertiaire et collectif, les chaudières à gaz restent la solution la plus économique du fait de l'inflation des CAPEX des alternatives renouvelables. Cependant, les niveaux de coûts des chaudières à gaz industrielles ont subi la hausse des prix du gaz, mais les alternatives renouvelables ont vu leurs coûts d'exploitation augmenter.

Toutefois dans l'hypothèse d'une augmentation du prix du gaz, les solutions de géothermie sur sondes et aquifères deviennent compétitives.

Un exemple de coûts annuel dans un logement d'habitat collectif est analysé :

Comparaison du coût total annualisé de solutions énergétiques pour le chauffage et l'ECS d'un appartement de 80 m² avec un prix des énergies 2022 et un prix de l'électricité diminué de 25 % et le prix du gaz diminué de 50% par rapport à 2022 (€ TTC/an)



Le coût annuel est calculé pour les besoins énergétiques, chauffage et Eau Chaude Sanitaire (ECS), d'un logement en habitat collectif de 80 m² situés au centre de la France métropolitaine et avec un diagnostic de performance énergétique (DPE) de classe D, soit des consommations de chauffage et d'ECS respectivement de 15 000 kWh/an et 1 500 kWh/an.

A nouveau, les coûts présentés ne prennent pas en compte les aides publiques du Fond Chaleur ou MaPrimeRenov' qui réduisent les coûts d'investissement.

La part de sensibilité au prix de l'énergie étant beaucoup plus faible dans les systèmes EnR, ils apparaissent comme très intéressants dans la perspective d'une installation sur durable.

Figure 21. Comparaison du coût total annualisée de solutions énergétiques pour le chauffage et l'ECS d'un appartement de 80 m² selon le prix du gaz et de l'électricité (€2022 TTC/an).

4.2 Bilan

Les Tranches 4 et 5 de la ZAC de la Bande du Moulin prévoient l'installation de 56 logements individuels, 50 logements collectifs, 52 logements intermédiaires et un éco Hameau comprenant 11 logements collectifs et 6 logements individuels. Le besoin énergétique global estimé sera de 1 195 MWh/a.

Cette étude a permis d'identifier les différentes énergies renouvelables mobilisables dans le cadre de la création de cette ZAC. Elle seront particulièrement pertinentes dans le cas de bâtiments respectant la RE2020 et possédant de bonnes performances énergétiques et environnementale, avec des émetteurs basse température.

La création d'un réseau de chaleur à l'échelle de la ZAC ne semble pas être une solution pertinente, de part le type de consommateur, leur densité, mais également la localisation de la ZAC dans la zone urbaine. Il est alors possible de mettre en place des solutions décentralisées de production d'énergies renouvelables.

Logement individuel

L'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage et l'ECS via des panneaux solaire thermique sont à considérer, car la majorité des besoins en eau chaude sanitaire du logement peuvent être couverts par ce type d'installation. Le solaire photovoltaïque est à considérer plutôt en terme d'autoconsommation. Il peut être envisagé une autoconsommation au niveau de la ZAC pour mutualiser les consommateurs et fournir une alimentation pour des bornes de recharge de véhicules électriques qui seraient mise en place sur les places de stationnement. Un système de stockage sur batterie serait à considérer du fait de la typologie de la ZAC présentant uniquement des bâtiments résidentiels.

La solution bois-énergie est intéressante du fait de son faible coût. Elle est un bon appoint pour un système solaire combiné ou encore une pompe à chaleur aérothermique. Il faut toutefois veiller à maintenir un approvisionnement local de la ressource.

La solution géothermie, bien que plus coûteuse à l'investissement est pertinente et permet d'avoir accès à une ressource dont les prix sont stable dans le temps. Par ailleurs, les lots de la ZAC semblent être suffisamment grand pour envisager l'implantation de sondes sur le terrain. Une étude au cas par cas est bien évidemment indispensable pour évaluer la pertinence d'une installation.

Les installations aérothermique sont à envisager, elles présentent l'avantage d'être pilotables. Pour une solution PAC air/eau, la combinaison avec des panneaux photovoltaïque permettrait une réduction du coût de l'énergie par l'autoconsommation et le stockage de la chaleur via le ballon d'ECS. Il faut toutefois considérer les inconvénients d'une généralisation de cette solution que sont la génération de bruit et une amplification de l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Logement collectif

Une installation de solaire thermique dimensionnée sur la période d'ensoleillement maximal peut répondre à la quasi-totalité des besoins d'ECS. Cette solution permet également aux locataires d'avoir des charges maîtrisées et réduites. Elle peut être couplée avec une solution de chaudière biomasse pour le chauffage.

Les installations de géothermie sur sondes et nappes qui, de part leur stabilité face à la variation du prix des énergie, sont des solutions intéressantes. Ces installations peuvent bénéficier d'aides publiques à l'investissement qui augmentent leur rentabilité.

La solution aérothermique peut être envisagée, dans le cas d'une PAC collective pour le bâtiment ou groupe de bâtiment uniquement.

Ces solutions peuvent être combinées avec une production photovoltaïque en autoconsommation partielle.

Le tableau ci-dessous résume le détail de chacune des EnR&R à considérer dans la ZAC de la Bande du Moulin :

	Avantages	Inconvénient	Commentaire
Réseau de chaleur	Mutualisation des sources d'énergies ; stabilité du prix de l'énergie ; valorisation d'énergies renouvelables locales	Coûts d'investissement élevés ; nécessite une forte densité et une mixité des typologies de bâtiments sur la zone	<i>Solution non retenue : Densité thermique trop faible</i>
Solaire thermique	Énergie disponible ; Couvre une majeure partie des besoins ECS	Énergie intermittente ; Nécessite un appoint pour le chauffage	<i>Solution intéressante</i>
Géothermie	Ressource stable ; possibilité de stockage géothermique	Technicité ; coût à l'investissement ;	<i>Solution intéressante</i>
Aérothermie	Possibilité de réversibilité pour fournir du froid en été	Nuisances sonores ; accentuation de l'effet d'îlot de chaleur urbain ; empreinte visuelle si installation en façade	<i>Solution intéressante</i>
Récupération de chaleur fatale sur eaux grises		Peu d'installations réalisées	<i>Solution à étudier sur logements collectifs</i>
Biomasse	Pilotable ; performance des équipements neufs ; faible coût ; faible technicité	Espace de stockage du combustible élevé ; Besoin d'appoint si poêle à bois.	<i>Solution intéressante</i>
Photovoltaïque	Énergie disponible ; Autoconsommation	Énergie intermittente ; baisse des tarifs de rachat de l'électricité ; solutions de stockage encore peu développées	<i>Solution intéressante</i>
Éolien			<i>Solution non retenue : Présence d'habitation à proximité</i>
Méthanisation			<i>Solution non retenue : Pas de certitude d'usage direct de la ressource au niveau de la ZAC</i>
Hydroélectricité			<i>Solution non retenue : Pas de ressource à proximité</i>

Tableau 1. Bilan des EnR&R

