ZAC ODE ACTE 1
A PEROLS

ETUDE DE FAISABILITE SUR LE POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT EN ENERGIES RENOUVELABLES

JANVIER 2022

AXENNE

MAITRE D'OUVRAGE **Société d'Aménagement de Montpellier Méditerranée Métropole (SA3M)**
Etoile Richter
45, place Ernest Garnier
CS 29502
34 960 MONTPELLIER Cedex 2
Tél. : 04 67 13 63 00

PRESTATAIRE **AXENNE**
73, cours Albert Thomas
69 003 LYON
Tél. : 04 37 44 15 80

Version	Date de rendu	Nature de la modification	Auteurs
1	Janvier 2022	Rendu initial	C.BOUGARD

SOMMAIRE

INTRODUCTION 5

RESUME DES CONCLUSIONS DE L'ETUDE 6

PRESENTATION DU SITE 7

1 CONTEXTE 7
1.1 LOCALISATION 7
1.2 ACCESSIBILITE 8
1.3 TOPOGRAPHIE 8
1.4 OCCUPATION DU SOL 8
2 PROGRAMMATION 8
3 PHASAGE – PERFORMANCE DES BATIMENTS 10

OPPORTUNITÉ DE RÉSEAUX DE CHALEUR OU DE FROID 11

4 CONSOMMATIONS THERMIQUES 11
5 OPPORTUNITE DE RESEAU DE CHALEUR OU DE FROID 12

CONSOMMATIONS TOTALES 14

6 ESTIMATION DES CONSOMMATIONS 14

GISEMENTS DISPONIBLES EN ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION 15

7 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE THERMIQUE 15
7.1 ÉNERGIE SOLAIRE 15
7.2 BIOMASSE COMBUSTIBLE 18
7.3 GEOTHERMIE 21
7.4 AEROTHERMIE 26
7.5 RECUPERATION DE CHALEUR SUR EAUX USEES 27
7.6 CHALEUR FATALE 31
7.7 RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT 32
8 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE 33
8.1 ÉNERGIE SOLAIRE 33
8.2 ÉNERGIE EOLIENNE 34
8.3 HYDROELECTRICITE ET ENERGIES MARINES 37
9 FILIERE DE PRODUCTION DE BIOGAZ 38
9.1 BIOMASSE METHANISABLE 38
10 RECAPITULATIF DES POTENTIALITES DU TERRITOIRE 40

ENERGIES RENOUVELABLES ET SYSTEMES ADAPTES A L'OPERATION 41
1 LES DIFFERENTS SYSTEMES ADAPTES 41

ANNEXES 60
A. METHODOLOGIE POUR EVALUER LA PERTINENCE D'UN RESEAU DE CHALEUR 60
B. DEFINITION DES ENERGIES DITES UTILES, FINALES, PRIMAIRES 61
C. CLASSIFICATION DES COMBUSTIBLES BOIS ENERGIE 63
D. EAUX USEES 64

INTRODUCTION

Le Grenelle I, dans son article 8, a modifié le code de l'urbanisme (article L.128-4) afin de rendre obligatoire « 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 » pour toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L.300-1-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact.

Cette étude de faisabilité sur le potentiel de développement des énergies renouvelables doit permettre d'analyser les atouts et contraintes de l'opération pour la valorisation du potentiel en énergies renouvelables (EnR) du territoire d'implantation de la zone d'aménagement. Il sera ainsi possible d'optimiser le recours aux énergies renouvelables afin de diminuer le recours aux énergies traditionnelles et fossiles et d'envisager au plus tôt dans le projet d'aménagement le raccordement ou la création de réseaux de chaleur et / ou de froid.

À l'issue de cette étude, la SA3M disposera d'éléments d'aide à la décision pour optimiser le recours aux énergies renouvelables compte tenu des priorités et choix d'aménagement.

RESUME DES CONCLUSIONS DE L'ETUDE

L'étude de faisabilité sur le potentiel de développement des énergies renouvelables a été réalisée sur la partie restant à urbaniser de la ZAC Ode Acte 1, c'est-à-dire le stade Nicollin et une zone mixte de bureaux et de commerces. Cette étude a pour but d'analyser les atouts et contraintes de l'opération pour la valorisation du potentiel en énergies renouvelables (EnR) afin d'optimiser le recours aux énergies renouvelables et ainsi diminuer le recours aux énergies traditionnelles et fossiles. Cette étude doit permettre d'envisager au plus tôt dans le projet d'aménagement le raccordement ou la création de réseaux de chaleur et / ou de froid.

Outre un bâtiment existant de 12 000 m² (le LINER), **138 000 m² de SDP** seront implantés sur le site d'ici 2026. Ils sont répartis entre différentes typologies (équipements sportifs, équipements publics, restaurants, bureaux, commerces, hôtel). Ces bâtiments présenteront des **consommations de chaleur et de froid** estimées à **8 500 MWh$_{ef}$/an**.

L'étude d'une boucle d'eau potentielle sur la ZAC nous porte à conclure sur la faisabilité d'étendre la boucle existante pour alimenter en chauffage, eau chaude sanitaire et climatisation les bâtiments à construire dans des conditions technico-économiques acceptables.

L'analyse des gisements en énergies renouvelables et des contraintes liées à leur mobilisation sur le site a permis d'identifier les ressources et systèmes suivants comme potentiellement pertinents pour couvrir les besoins des bâtiments de la ZAC :

- L'alimentation de la boucle d'eau par l'intermédiaire de la géothermie sur sondes afin de bénéficier d'une part importante d'énergie d'origine renouvelable et d'émissions de gaz à effet de serre très faibles. Cet apport pourrait être complété par la récupération de la chaleur des eaux usées au niveau du poste de relevage du Fenouillet.
- La mise en place de panneaux solaires en toiture des bâtiments, afin de produire de l'électricité via des modules photovoltaïques et/ou de l'eau chaude solaire via des panneaux solaires thermiques (pour les bâtiments ayant des besoins importants et constants sur l'année).
- La récupération de chaleur des eaux usées sur les équipements sportifs ainsi que sur l'hôtel.
- La mise en place d'un réseau de chaleur bois énergie.

Des études plus approfondies devront permettre de confirmer l'intérêt technico-économique de ces solutions, de les comparer entre elles et permettront de choisir la ou les solutions techniques les plus intéressantes. Le choix des solutions d'approvisionnement en énergie devra être fait dans un objectif d'optimisation à la fois économique, technique et socio-environnementale.

PRESENTATION DU SITE

1 CONTEXTE

1.1 LOCALISATION

La ZAC Ode Acte 1 est située au nord de la commune de Pérols. Elle est délimitée au sud-ouest par l'avenue Georges Frèche. L'ensemble de la ZAC représente une zone d'environ 37 ha.

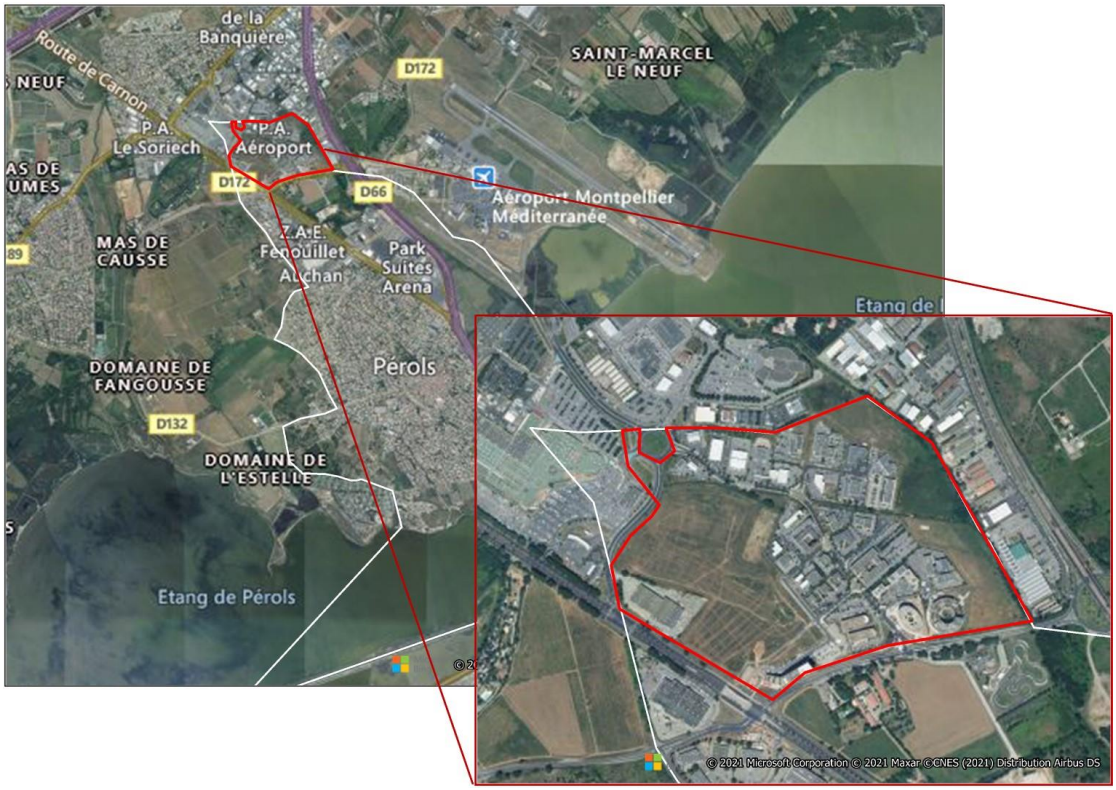


Figure 1 : Vue aérienne du site de la ZAC Ode Acte 1

La ZAC fait partie de la concession « Ode à la Mer », site d'intervention majeur de la Métropole de Montpellier situé sur les communes de Lattes et Pérols.

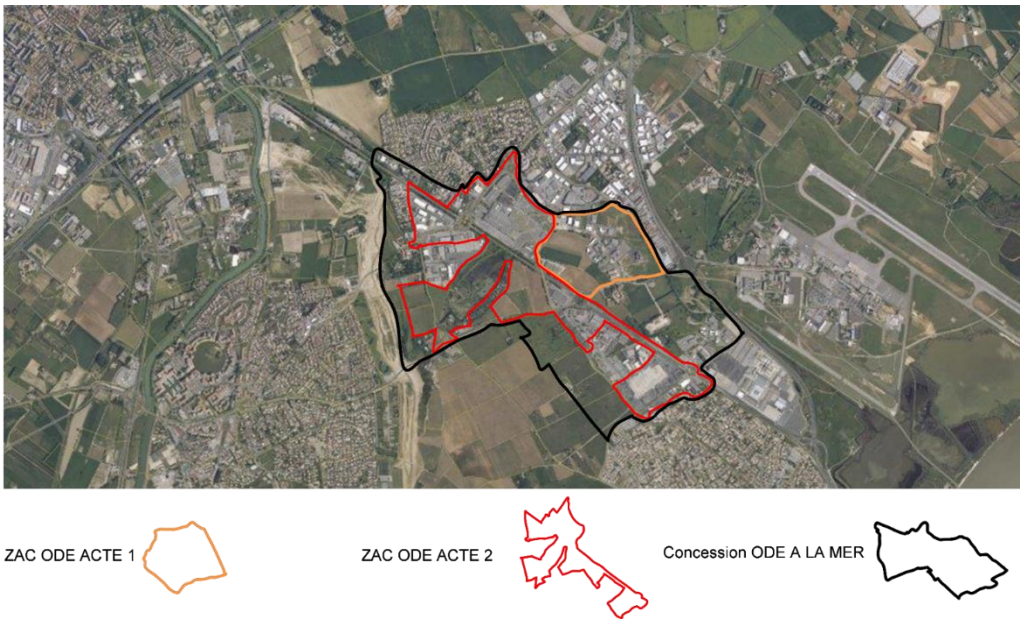


Figure 2 : Vue aérienne de la Concession Ode à la Mer

1.2 ACCESSIBILITE

Le site est desservi au sud-ouest par l'avenue Georges Frèche, au sud-est par la D172 et au nord par la D21E6.

1.3 TOPOGRAPHIE

Le site se situe entre 5 et 11 m d'altitude.

1.4 OCCUPATION DU SOL

Le site est déjà urbanisé en partie, un parc d'activité ayant été aménagé entre 2002 et 2004.

La présente étude du potentiel de développement des énergies renouvelables s'intéresse uniquement à la partie restant à urbaniser, qui verra la construction du stade Nicollin (7 à 8 ha) et d'une zone mixte de commerces et de bâtiments tertiaires.

Figure 3 : Vue aérienne de l'occupation du sol

2 PROGRAMMATION

La programmation envisagée est issue des travaux du cabinet Reichen et Robert & Associés, synthétisée par le cabinet MERLIN. Elle comprend 150 000 m² de surface de plancher, répartie de la manière suivante :

Lot	Surface de plancher (SDP)
Pôle Mixte	9 800 m² de rez-de-chaussée commerciaux 31 250 m² de bureaux en étage
Pôle sportif - Stade Louis Nicollin	13 285 m² de bureaux 2 515 m² de restaurants 46 767 m² d'équipements publics 14 378 m² de tertiaire
Pôle sportif – Tours périphériques	20 000 m² de bureaux
Liner (bâtiment existant)	12 000 m²
TOTAL	**150 000 m²**

Figure 4 : Programmation de la ZAC (MERLIN)

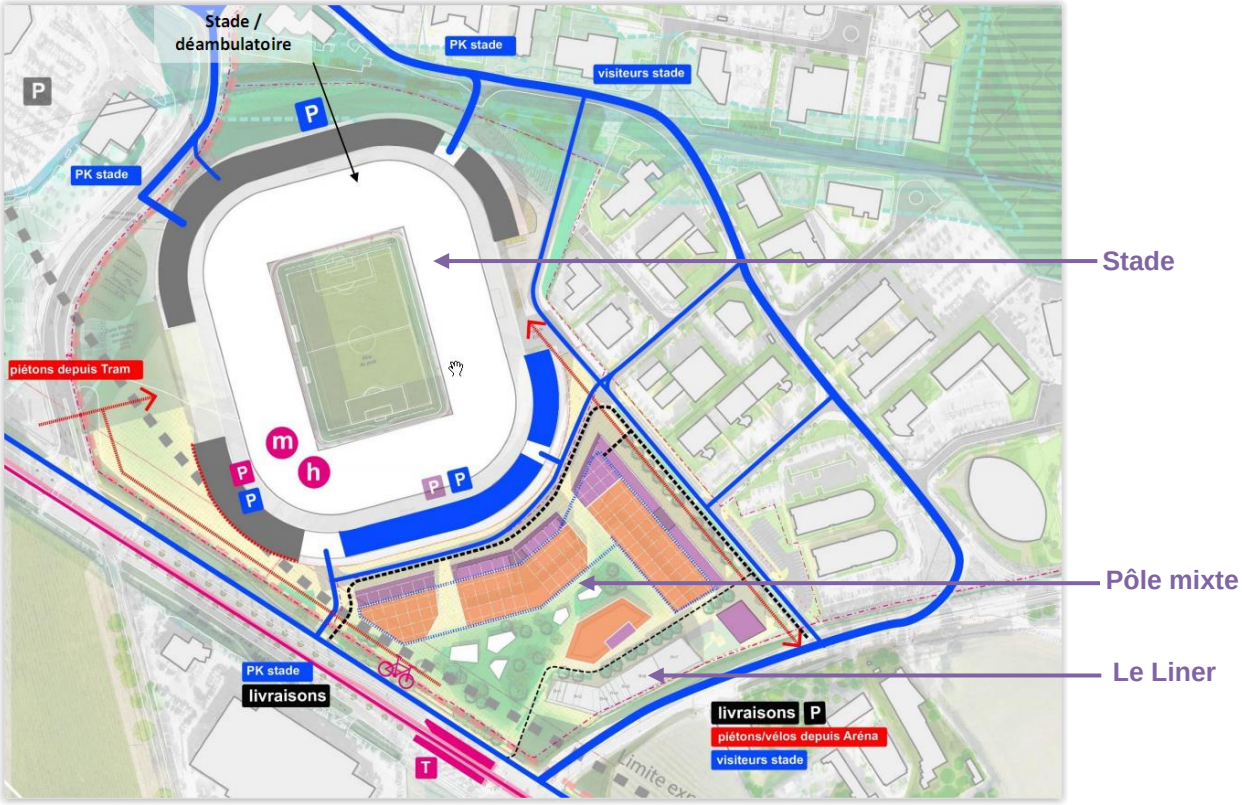


Figure 5 : Plan masse du projet

La figure suivante présente le détail de la programmation retenue pour la présente étude par typologie de bâtiments. A noter que cette SDP ne prend pas en compte les zones non chauffées du stade (aide de jeux, voies, évacuation, parkings, etc.).

Typologie générale	SDP
Commerces	10 466 m²
Bureau	90 913 m²
Enseignement	151 m²
Santé, social	2 352 m²
Sport, loisir	39 298 m²
Cafés, hôtels, restaurants	6 815 m²
TOTAL	**149 995 m²**

Figure 6 : Répartition des surfaces de plancher par typologie sur la ZAC

3 PHASAGE – PERFORMANCE DES BATIMENTS

Les bâtiments de la ZAC verront leurs permis de construire déposés après 2020 : le pôle mixte devrait être livré pour moitié en 2024, les bâtiments restants étant livrés en 2026. Le stade devrait être livré en 2025.

Les bâtiments respecteront par conséquent la RE 2020, dont toutes les modalités ne sont pas encore connues mais dont le calcul devrait se rapprocher du label expérimental Energie Carbone (E+C-).

Des hypothèses de consommation par usage et typologie de bâtiment sont données par le maitre d'ouvrage et appliquées aux surfaces à construire :

kWh/m².an	Commerces	Bureaux	Enseignement	Café / Hôtel / Restaurant
Chauffage	69,7	18,7	21,25	17
Eau chaude sanitaire	Négligeable	Négligeable	Négligeable	40
Froid (hiver)	8	0	0	0
Froid (été)	60	30	0	40

Figure 7 : Ratios de consommation fournis par la SERM Energie à partir de 2020 (kWh_{ef}/m².an)

OPPORTUNITÉ DE RÉSEAUX DE CHALEUR OU DE FROID

L'objectif de ce paragraphe est de calculer en première approche la densité énergétique du site afin de statuer sur la pertinence d'un réseau de chaleur.

La création d'un réseau de chaleur raccordant tout ou une partie des bâtiments de la ZAC présente en effet plusieurs intérêts :

- Mutualisation de l'investissement : dans la mesure où la densité de consommation d'énergie est suffisante, la création d'un réseau permet de réduire les coûts liés aux équipements de production de chaleur en les mutualisant. Le calcul de la densité énergétique permet d'étudier la rentabilité de cette solution qui représente des coûts supplémentaires liés au réseau par rapport à un ensemble de solutions individuelles.
- Mutualisation de l'exploitation (maintenance, approvisionnement, etc.).
- Création d'un service public de l'énergie : le réseau peut être porté par la collectivité qui assure ainsi un service de fourniture de chaleur à l'ensemble du quartier à un prix stable et équivalent pour tous les occupants.

D'autre part, le réseau créé sur la ZAC peut être étendu aux bâtiments existants aux alentours ou aux futurs bâtiments qui verront le jour aux abords de la ZAC. Ces bâtiments bénéficieront ainsi d'une énergie issue de sources renouvelables dont les coûts sont mutualisés. Cette extension permettra également d'accroitre la densité énergétique du réseau de chaleur (en particulier pour les bâtiments existants dont les consommations sont plus importantes) et contribuera à améliorer le bilan économique du réseau créé.

La méthodologie employée pour déterminer l'opportunité d'un réseau de chaleur est décrite en annexe A.

4 CONSOMMATIONS THERMIQUES

Les consommations finales d'énergie des bâtiments ont été calculées en supposant le raccordement à une boucle d'eau couvrant les besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire et de froid de tous les bâtiments.

Les **consommations de chaleur et de froid** de l'ensemble des bâtiments[1] seraient de **8 500 MWhef** par an :

- 3 490 MWhef par an pour le chauffage et les auxiliaires,
- 1 390 MWhef par an pour l'eau chaude sanitaire,
- 3 620 MWhef par an pour la climatisation.

	Chauffage	ECS	Climatisation	Total chaleur / froid
Commerces	762 MWhef	0 MWhef	744 MWhef	1 506 MWhef
Bureaux	1 545 MWhef	0 MWhef	2 474 MWhef	4 019 MWhef
Enseignement	4 MWhef	0 MWhef	0 MWhef	4 MWhef
Santé, social	174 MWhef	44 MWhef	6 MWhef	224 MWhef
Sport, loisirs	880 MWhef	1 043 MWhef	99 MWhef	2 022 MWhef
CAHORE	127 MWhef	298 MWhef	298 MWhef	723 MWhef
Total	**3 491 MWhef**	**1 385 MWhef**	**3 621 MWhef**	**8 497 MWhef**
Part (%)	41%	16%	43%	

Figure 8 : Récapitulatif des consommations finales par type de bâtiment

Sur l'ensemble des bâtiments, les postes chauffage et climatisation sont équivalents.

[1] *Hors Liner, dont les consommations d'énergie n'ont pas été communiquées.*

5 OPPORTUNITE DE RESEAU DE CHALEUR OU DE FROID

RESEAUX POTENTIELS SUR LE SITE

Le bâtiment « Le Liner », déjà présent sur le site est alimenté par de la géothermie sur sondes depuis 2014. 36 sondes géothermiques sont implantées sous le bâtiment et le parking de l'immeuble, à une profondeur de 99 mètres. Elles sont reliées à deux thermo-frigo-pompes d'une puissance totale de 818 kW, pouvant produire du chaud et du froid simultanément ou alternativement. L'installation est connectée depuis 2017 à une boucle d'eau tempérée permettant d'alimenter des logements situés de l'autre côté de l'avenue Georges Frèche, au Fenouillet.

La figure suivante présente un tracé potentiel de l'extension de la boucle d'eau existante afin de raccorder les bâtiments à construire du pôle mixte ainsi que le futur stade.

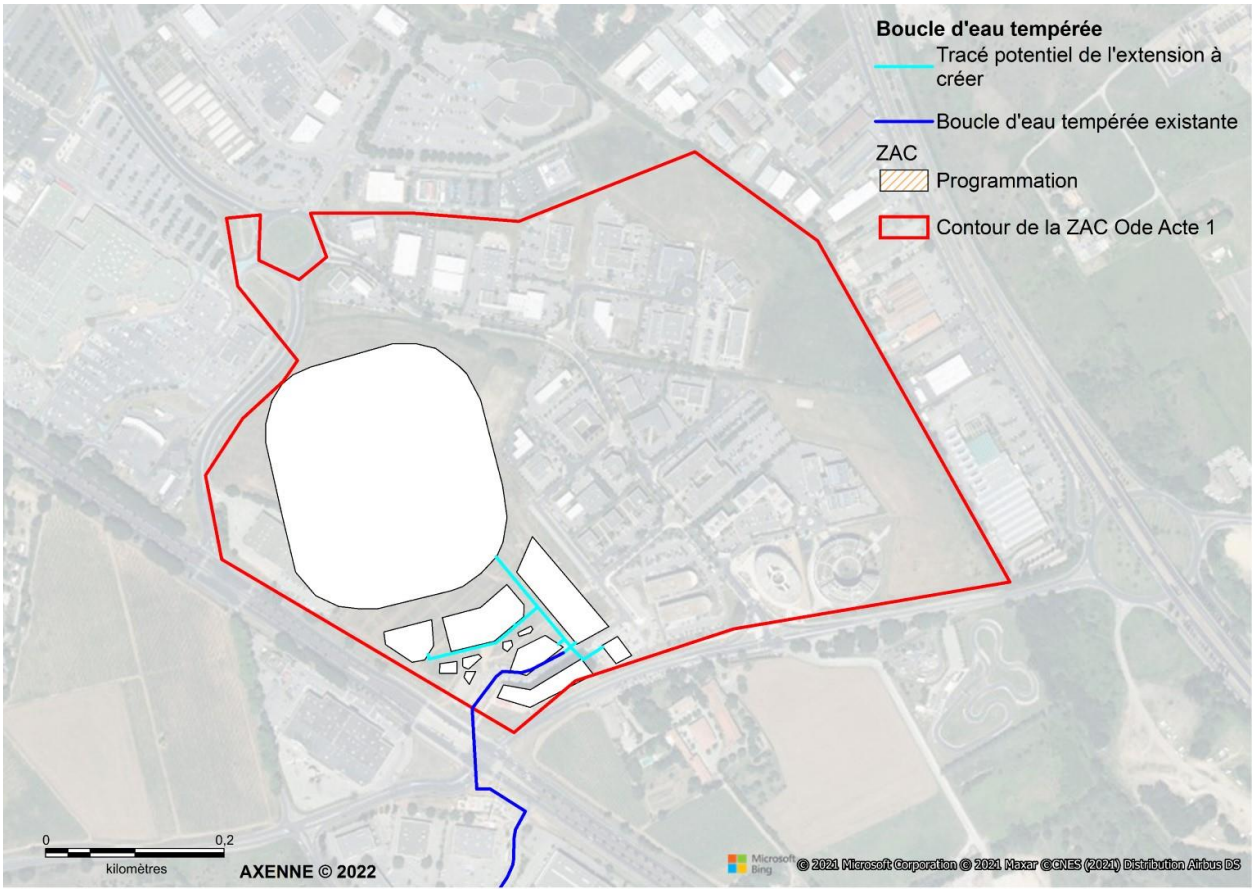


Figure 9 : Tracé et extensions du réseau de chaleur potentiel

PERTINENCE D'UN RESEAU DE CHALEUR OU DE FROID

La boucle d'eau présentée couvre les besoins de chauffage, les besoins en eau chaude sanitaire, ainsi que les besoins de froid de l'ensemble des bâtiments (hors kiosques, qui ne seront a priori pas chauffés).

L'extension de la boucle d'eau présente une longueur d'environ 350 ml. Au vu des consommations en énergie retenues et des longueurs des tracés, la boucle d'eau potentielle présente une densité énergétique de près de **14 MWh$_{ef}$/ml.an**.

Réseaux	Longueur du réseau *(en mètre linéaire)*	Consommation finale annuelle pour le chauffage et l'ECS *(en MWh d'énergie finale)*	Densité de chaleur du réseau *(en MWh d'énergie finale par ml par an)*	Consommation finale annuelle pour le rafraichissement *(en MWh d'énergie finale)*	Densité de froid du réseau *(en MWh d'énergie finale par ml par an)*
Extension de la boucle d'eau	350 ml	4 876 MWhef	13,93 MWhef/(ml.an)	3 621 MWhef	10,35 MWhef/(ml.an)

La densité énergétique thermique estimée est très élevée, et donc l**argement suffisante pour envisager une boucle d'eau tempérée.** Celle-ci permettrait en outre de couvrir les besoins de froid, avec également une très bonne densité énergétique (10 MWh_{ef}/m^2).

Des études plus poussées seront nécessaires pour valider dans un premier temps la faisabilité technique d'approvisionnement de la boucle d'eau par de la géothermie sur sondes, et dans un second temps l'intérêt économique d'une telle opération.

D'autre part, des futurs bâtiments situés à proximité de la ZAC pourraient également être raccordés à cette boucle d'eau le cas échéant. La densité thermique serait diminuée mais resterait tout de même conséquente.

CONSOMMATIONS TOTALES

6 ESTIMATION DES CONSOMMATIONS

La consommation totale des bâtiments est estimée à **15 400 MWhef/an.** Cette consommation correspond aux consommations thermiques ainsi qu'aux consommations électriques pour la cuisson, l'éclairage, les usages mobiliers, ainsi que les parties communes (ascenseurs, parkings et éclairage).

	Chauffage	ECS	Climatisation	Cuisson	Elec spécifique	Eclairage	Parties communes	Total
Commerces	762 MWhef	-	744 MWhef	51 MWhef	308 MWhef	396 MWhef	21 MWhef	2 282 MWhef
Bureaux	1 545 MWhef	-	2 474 MWhef	312 MWhef	2 651 MWhef	881 MWhef	300 MWhef	8 163 MWhef
Enseignement	4 MWhef	-	-	1 MWhef	1 MWhef	0 MWhef	1 MWhef	7 MWhef
Santé, social	174 MWhef	44 MWhef	6 MWhef	23 MWhef	78 MWhef	17 MWhef	10 MWhef	353 MWhef
Sport, loisirs	880 MWhef	1 043 MWhef	99 MWhef	171 MWhef	264 MWhef	576 MWhef	169 MWhef	3 201 MWhef
CAHORE	127 MWhef	298 MWhef	298 MWhef	453 MWhef	86 MWhef	86 MWhef	30 MWhef	1 378 MWhef
Total	3 491 MWhef	1 385 MWhef	3 621 MWhef	1 011 MWhef	3 389 MWhef	1 956 MWhef	531 MWhef	**15 384 MWhef**
Part en %	23%	9%	24%	7%	22%	13%	3%	100%

GISEMENTS DISPONIBLES EN ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION

7 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE THERMIQUE

7.1 ÉNERGIE SOLAIRE

Il s'agit de capter le rayonnement solaire via un capteur puis de redistribuer l'énergie qu'il contient par le biais d'un fluide caloporteur – qui peut être de l'eau, un liquide antigel ou même de l'air – et d'un circulateur.

Un capteur solaire thermique exposé au soleil capte une partie du rayonnement et réfléchit le reste : il convertit ensuite le rayonnement en chaleur et la transmet au fluide caloporteur.

7.1.1 GISEMENT

L'ensoleillement du territoire et les données météorologiques constituent le gisement brut des filières solaires thermiques. Ces données servent de base au calcul du productible des installations solaires thermiques et photovoltaïques.

DONNEES METEOROLOGIQUES

Les données météorologiques (températures extérieures, rayonnement, vitesse de vent) sont issues du logiciel Météonorm V7. La station prise en références pour élaborer le climat sur le territoire est celle de Montpellier.

Le rayonnement global est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus (la réverbération du rayonnement direct sur la végétation, le sol, les immeubles, etc.).

Base météo de référence : **Montpellier**

Altitude : 3 m
Latitude : 43,58 °
Longitude : 3,97 °

MOIS	Ensoleillement à l'horizontale (en Wh/(m².j))	Température mini	Température moyenne	Température maxi
Janv	1 710	3,5	7,6	11,6
Févr	2 655	4,2	8,4	12,6
Mars	3 968	6,8	11,2	15,6
Avr	5 033	9,8	13,9	18,0
Mai	6 097	13,6	17,9	22,1
Juin	7 067	17,7	22,1	26,4
Juil	7 097	19,8	24,0	28,2
Août	5 839	19,7	24,0	28,3
Sept	4 567	15,3	19,7	24,0
Oct	2 839	13,0	16,8	20,5
Nov	1 933	7,6	11,5	15,4
Déc	1 484	3,7	7,8	11,8

Total annuel : 1533 kWh/(m².an)

Sources : ensoleillement (période 1991 - 2010) / températures (période 2000 - 2009) - Météonorm V7

Figure 10 : Données mensuelles d'ensoleillement et de température

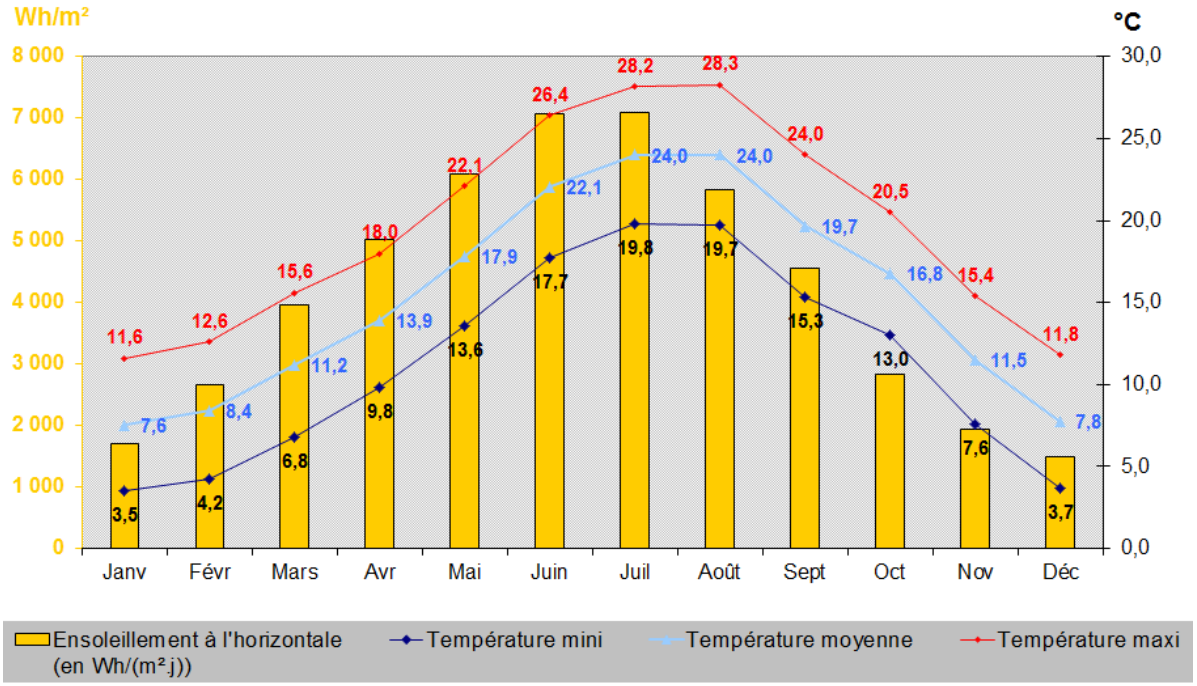


Figure 11 : Courbes mensuelles d'ensoleillement et de température à Montpellier

CARTOGRAPHIE DE L'ENSOLEILLEMENT

La carte suivante met en évidence l'ensoleillement annuel moyen sur le territoire. Les valeurs d'ensoleillement sont issues de la base de données SolarGis détenue par Axenne (grille au pas de 250m). Les données d'ensoleillement sont calculées à partir des images du satellite Météosat, du relief, etc. entre 1994 et 2013.

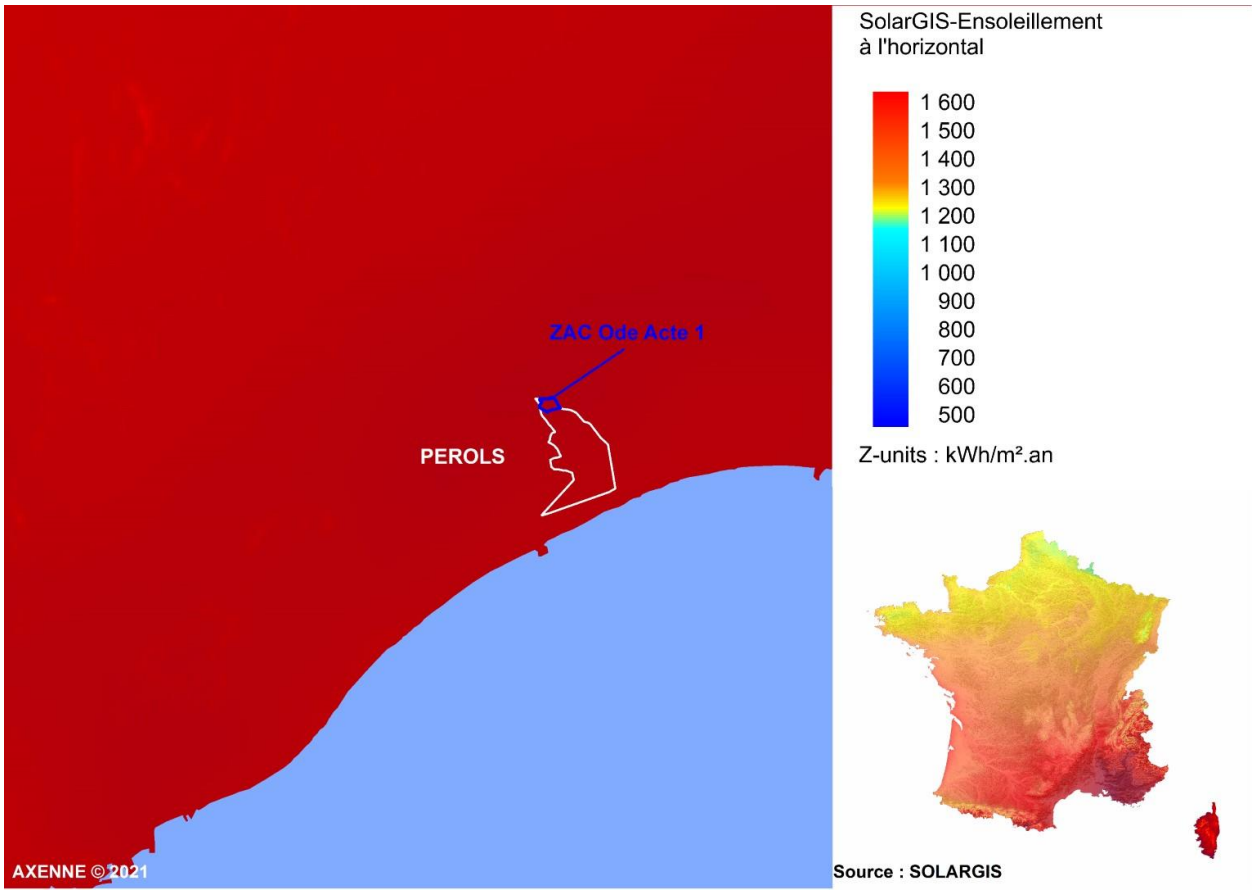


Figure 12 : Ensoleillement moyen annuel sur le territoire, prise en compte du relief

La plage de valeurs indiquée dans la légende comprend toutes les valeurs de l'ensoleillement en France pour la période donnée. Cette information permet de situer le territoire étudié par rapport à la France en ce qui concerne l'ensoleillement.

La zone d'étude bénéficie d'un ensoleillement annuel très important de 1 530 kWh/m² par an sur l'ensemble du site.

7.1.2 PRODUCTIBLE

Le productible d'une installation solaire thermique est illustré dans le cadre d'une installation collective (simulation SOLO 2000) :

- Consommation de 2 000 litres par jour. Ces besoins correspondent à ceux d'un immeuble de 20 logements, soit 45 personnes environ.
- Ballon de stockage de 2 500 litres,
- 31 m² de capteurs,
- Orientation Sud et inclinaison à 45°.

Avec les hypothèses mentionnées ci-dessus, l'installation produira 18 350 kWh/an soit 60 % des besoins en eau chaude sanitaire du bâtiment considéré. La productivité des capteurs est de 588 kWh/m².

7.1.3 CONTRAINTES DU SITE

7.1.3.1 Contraintes réglementaires

CONTEXTE

Dans l'objectif de protéger et conserver le patrimoine bâti présentant une importance particulière, différents types de protection existent en France : site classé, site patrimonial remarquable, monument historique et site inscrit. Ces protections n'ont pas les mêmes implications, notamment en ce qui concerne la possibilité d'implanter une installation solaire thermique ou photovoltaïque à proximité.

CONTRAINTES SUR LE SITE

D'après l'atlas des patrimoines[2], l'emprise de la ZAC est située hors de toutes zones de protection du patrimoine (sites inscrits, sites classés, site patrimonial remarquable). Les monuments historiques présents autour du site sont situés à plus de 500 m.

7.1.3.2 Contraintes physiques

D'une manière générale et dans la mesure du possible, il est préférable de placer les bâtiments les plus hauts au nord afin d'éviter qu'ils ne projettent leurs ombres sur les bâtiments plus bas dont la toiture ne pourrait alors pas être équipée de capteurs solaires.
Le stade est bien positionné au nord de la zone. En revanche, une partie du bâtiment « Le Liner » pourrait faire de l'ombre au bâtiment R+4 situé au nord. De même, le bâtiment R+7 pourrait faire de l'ombre sur une partie du bâtiment situé au nord, en fonction de leur éloignement.

7.1.4 POTENTIEL

Des capteurs solaires thermiques peuvent être mis en place sur tous les bâtiments, dans la mesure où il n'y a pas de contraintes réglementaires. Il faudra cependant faire attention aux éventuels ombrages des bâtiments les uns sur les autres.

La **filière solaire thermique présente un gisement très intéressant**, et pourrait être sollicitée pour contribuer à l'approvisionnement énergétique du site, notamment de l'hôtel, des équipements sportifs ou encore des restaurants.

[2] http://atlas.patrimoines.culture.fr/atlas/trunk/

7.2 BIOMASSE COMBUSTIBLE

Le terme « bois-énergie » désigne l'énergie produite à partir de la dégradation du bois. Cette énergie est au départ celle du soleil, transformée par les arbres lors de la photosynthèse. Elle est libérée sous forme de chaleur lors de la combustion du bois et est utilisée directement pour produire de la chaleur.

Le bois énergie est un mode de chauffage ancestral qui a récemment connu d'importantes évolutions technologiques : automatisation de l'alimentation, du décendrage et de la régulation pour les chaudières et certains poêles, amélioration des performances techniques et du rendement. Les produits développés apportent un grand confort sur le plan thermique et sont de plus en plus souples d'utilisation. Les niveaux de pollution (émissions de particules essentiellement) ont été réduits de manière importante par rapport aux anciens modèles.

Le bois-énergie est une énergie renouvelable qui ne court pas de risque de pénurie, à court ou à long terme, à condition de recourir à une gestion raisonnée de la forêt.

7.2.1 GISEMENT

L'approvisionnement de la filière bois énergie peut faire appel à des ressources bois de différentes natures, celles-ci pouvant déjà être captées par d'autres filières de valorisation du bois, en tout ou partie. Il est important de veiller à éviter les conflits d'usage de la ressource bois.

Le gisement est constitué de la ressource forestière (taillis, rémanents d'exploitation, etc.), mais également des sous-produits des industries du bois (sciures, copeaux, écorces, dosses, etc.), des bois de rebut non souillés (palettes, cagettes, etc.) et des résidus d'élagage. La plupart de ces matériaux doivent être transformés avant d'être utilisés dans une chaudière.
On considère en première approche que l'approvisionnement en combustible bois d'origine forestière est intéressant jusqu'à une distance de 50 km ; au-delà, deux problèmes se posent :

- Le coût du transport rend non compétitif le combustible,
- Les émissions polluantes dues au transport « annulent » l'intérêt de recourir au bois énergie pour ses qualités environnementales.

Ressource forestière :
La ressource forestière est mobilisée pour différents usages selon la qualité des bois. La production de plaquettes pour un usage en bois énergie provient du bois de mauvaise qualité et du menu bois et branche.

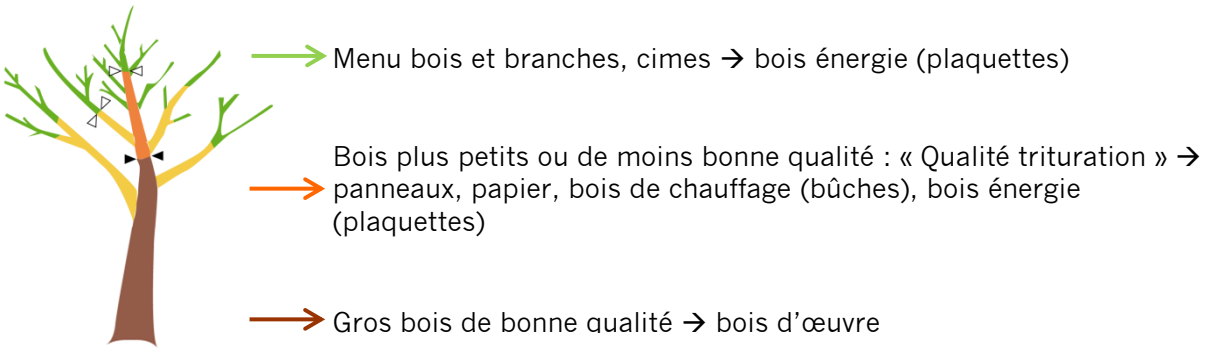


Figure 13 : Illustration des différentes qualités de bois

La carte ci-dessous permet de localiser les régions forestières situées dans un rayon de 50 km autour du site, et de visualiser les caractéristiques de la forêt sur cette même zone.

Le site du projet se trouve sur la région forestière « Plaine viticole de l'Aude et de l'Hérault ». Il s'agit de territoires peu boisés, présentant un taux de boisement de plus de 5,2 %. Dans un rayon de 50 km on retrouve également les régions forestières plus boisées des « Garrigues », des « Grandes Causses », des « Avant-monts du Languedoc » et « Basses-Cévennes ».

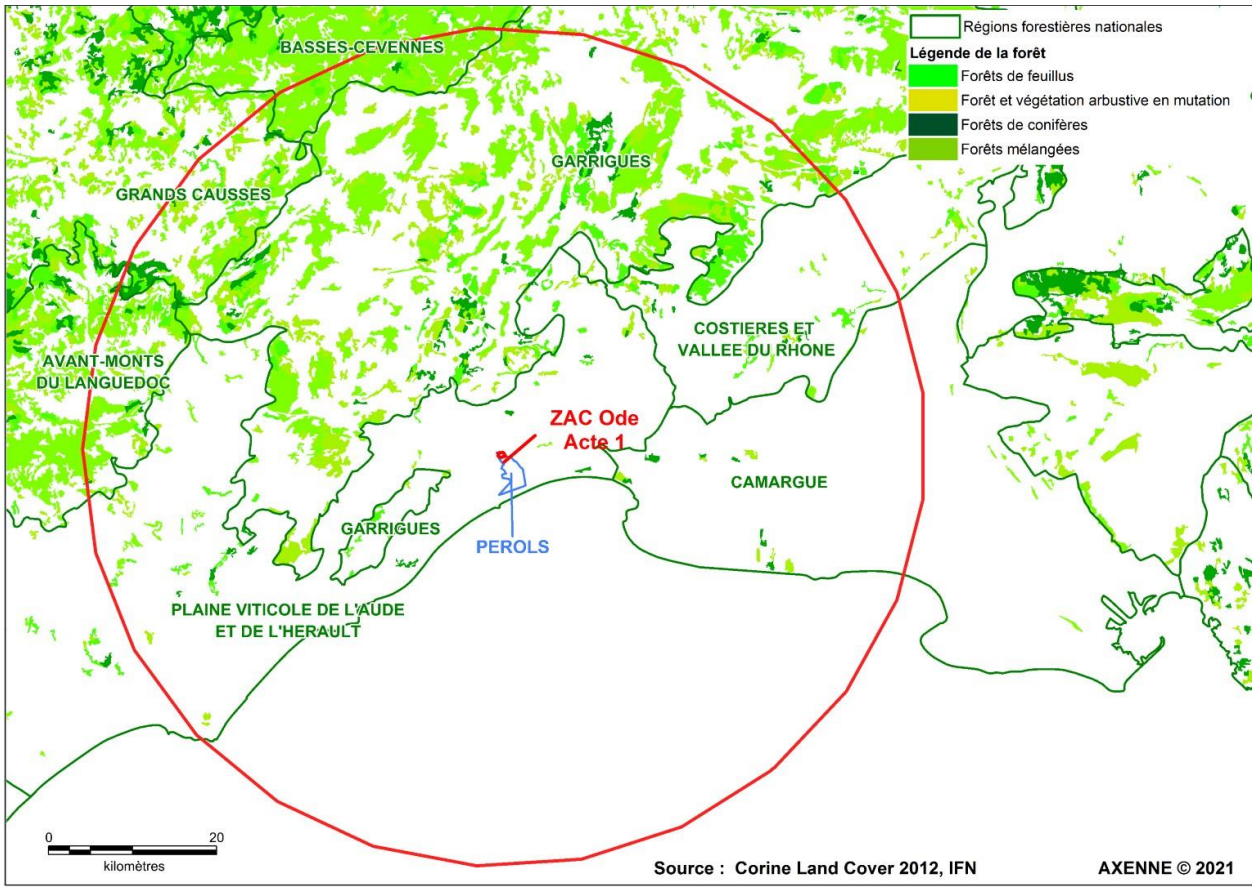


Figure 14 : La forêt et les régions forestières autour du site (AXENNE)

Dans le cadre de l'élaboration du schéma régional des énergies renouvelables du Languedoc-Roussillon, une étude relative à la valorisation énergétique de la biomasse a été réalisée en 2009 (groupement Alcina/AEF/Faig Bé). Cette étude indique les gisements mobilisables pour le bois énergie sur le département de l'Hérault par région forestière à l'horizon 2020.

Départements	Région IFN	Total estimation gisement théoriquement mobilisable en bois énergie (MWh/an)	Total de la récolte de bois (BO2/BI/BB) en MWh/an	Gisement net mobilisable en bois énergie (MWh/an)
Hérault	Montagne noire	85321	76495	8826
	Avant Mont et Lodevois	358385	314884	43501
	Mont Somail Espinouse Bordure Lacaune	332942	17778	315164
	Plaine viticole et vallée de l'Hérault	72359	8914	63445
	Garrigues	298973	52598	246375
	Causses	91275	31500	59775
	TOTAL	**1 239 255**	**502 169**	**737 086**

Figure 15 : Gisement de bois énergie dans le département de l'Hérault par région forestière (Alcina/AEF/Faig Bé)

Le gisement net mobilisable est très important sur ces régions forestières, toutefois il existe un certain nombre de freins qui pèsent sur sa mobilisation (surfaces de forêt privée détenue par plusieurs milliers de propriétaires, absence d'une culture forestière qui entraîne une non-implication des propriétaires, etc.).

La mobilisation de cette ressource dépendra de l'évolution de la valeur du bois énergie rémunérée au propriétaire forestier, de la mobilisation des propriétaires privés, de la communication et la sensibilisation de la population et des communes sur l'exploitation forestière, ainsi que de la structuration de la filière en termes, entre autres, de matériel et de formation.

Le contexte économique actuel de la filière bois montre que les produits à destination du bois d'œuvre type 2[3], du bois d'industrie et du bois énergie sont clairement en concurrence. L'alimentation de toutes ces filières se fera donc sur le même gisement.

Les produits connexes issus de la transformation du bois sont souvent déjà valorisés (industrie papetière, énergie, panneaux) ; de même que pour le bois forestier, leur disponibilité pour une utilisation locale en énergie est directement liée à la capacité du nouveau marché à rémunérer ces produits à un prix au moins supérieur au prix de vente actuel. Enfin, les bois de rebut non souillés représentent des gisements importants mais sont souvent soit non triés, soit déjà valorisés. D'après la même étude, le gisement des produits connexes de scierie disponible sur le département est quasiment nul.

Les gisements en bois d'élagage et en bois de rebut sont plus difficiles à quantifier.

7.2.2 FOURNISSEURS LOCAUX

Une liste non exhaustive des fournisseurs est fournie par Bois Energie Occitanie[4]. Il y a huit fournisseurs recensés sur le département.

Nom	Combustible			Commune
	Nature	Classe[5]	Volume max. stockage	
Alliance Forêt Bois	Plaquettes forestières	C1, C3	Sous hangar : 2 000 MAP	LA SALVETAT SUR AGOUT
Veolia Propreté	Plaquettes forestières, bois en fin de vie, déchets verts, bois d'élagage	C2, C3, C4	NC	PIGNAN
Chriso Palette	Bois en fin de vie	C3, C4	Sous hangar : 80 MAP	SERVIAN
SARL LR Broyage	Connexes de l'industrie du bois	C4	A l'air libre : 20 000 MAP	BESSAN
Cofely LR	NC	NC	NC	MONTPELLIER
Scierie charpente Construction Bois	Connexes de l'industrie du bois	C2	A l'air libre : 200 MAP Sous hangar : 200 MAP	COURNIOU
Ferme de la Fageole	NC	NC	NC	COURNIOU
Européenne de biomasse - Engelvin TP 34	Plaquettes forestières, granulés	C2	NC	SAINT JEAN DE VEDAS

Figure 16 : Fournisseurs de bois énergie sur l'Hérault (Bois Energie Occitanie)

L'écosite FOREST est basé au cœur de l'arrière-pays héraultais sur la commune de La Salvetat sur Agoût. Il a pour vocation d'être une plate-forme de valorisation de bois, notamment feuillu. Actuellement en activité, notamment, de production de plaquettes forestières mais également de bois-bûche, il distribue le combustible sur tout le département de l'Hérault mais aussi dans le Tarn. Alliance Forêt Bois est en charge de sa gestion. Il comprend une place de stockage de bois d'œuvre et un hangar de séchage de plaquettes de bois locaux[6].

[3] *Bois d'œuvre type 2 : bois d'œuvre destiné à la fabrication d'emballage (palette, caisson...)*
[4] https://www.boisenergie-occitanie.org/reseau.php
[5] *Les critères associés aux classes de combustibles sont présentés en annexe.*
[6] *Source : Association des Communes Forestières de l'Hérault*

7.2.3 CONTRAINTES DU SITE

Le bois énergie peut être utilisé pour approvisionner des bâtiments de manière individuelle ou mutualisée (réseau de chaleur). Dans tous les cas, la ou les chaufferies seront installées dans un bâtiment indépendant accolé et seront équipées d'un silo de stockage du combustible. Ce silo devra être accessible pour la livraison du combustible par camions.

La chaufferie fournira la chaleur pour le chauffage et le plus souvent pour l'eau chaude sanitaire également, à hauteur de 85 % en moyenne, l'appoint étant réalisé par une chaudière au gaz naturel permettant ainsi de limiter la puissance de la chaudière bois et l'investissement.

RESERVE FONCIERE

- Lorsqu'il s'agit d'installations à l'échelle d'un bâtiment ou de petits réseaux de chaleur, la chaudière et le silo de stockage du combustible peuvent être intégrés aux bâtiments. Par exemple, pour une chaudière bois de 200 kW et un appoint/secours gaz de 400 kW, l'emprise foncière sera d'environ 25 m² pour la chaufferie plus 25 m² pour le silo.
- Dans le cas d'un réseau de chaleur plus important, la chaufferie et le silo nécessitent un bâtiment dédié et constituent un élément impactant en termes de réserve foncière. Une chaufferie bois/appoint gaz de 2 MW nécessite 150-200 m², silo compris. Au vu de la programmation actuelle, cette installation pourrait se faire au nord du stade.
- Dans le cas d'un raccordement à un réseau existant de périmètre plus large, les sous-stations sont installées en pied d'immeuble et prennent peu de place (équivalent à une chaufferie gaz).

Il sera également nécessaire d'étudier l'accessibilité du ou des silos de stockage depuis la rue afin que les camions puissent effectuer la livraison, ainsi que la possibilité d'effectuer des manœuvres de retournement une fois la livraison effectuée.

NUISANCES

Suivant la fréquence de livraisons, celles-ci peuvent générer une nuisance pour le voisinage. Il s'agit d'une nuisance comparable à la livraison effectuée chez un commerce.

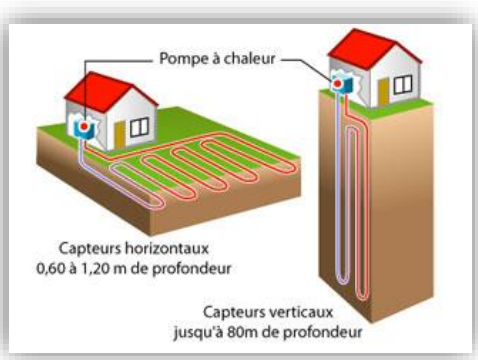
7.2.4 POTENTIEL

Au vu des ressources et de l'offre locale, il serait possible de couvrir les besoins de chaleur de la ZAC par des chaudières en pied d'immeuble ou un réseau de chaleur au bois énergie.

7.3 GEOTHERMIE

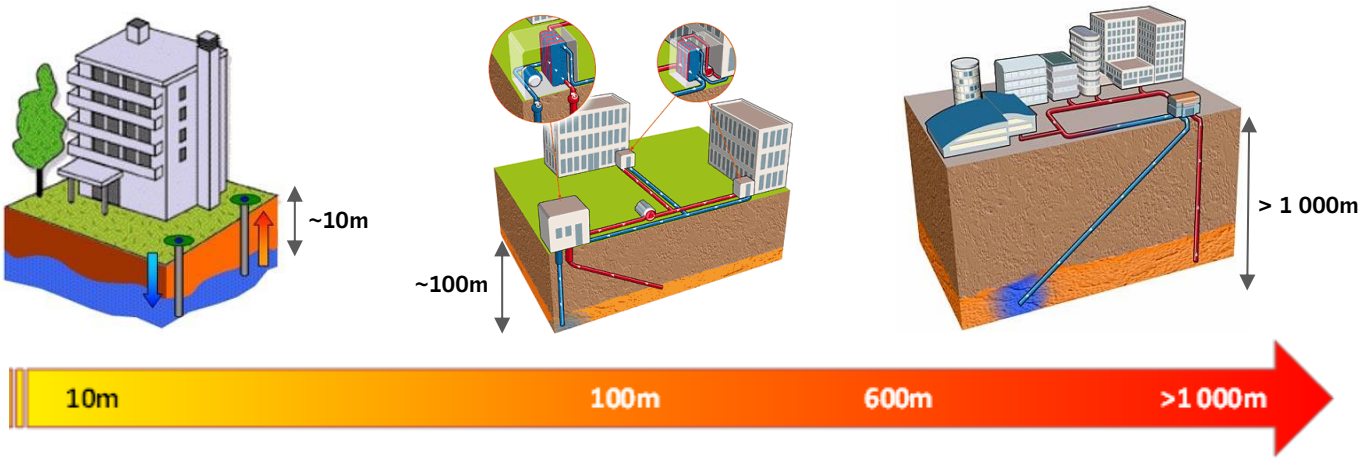
La géothermie est l'exploitation de la chaleur du sous-sol. Elle peut se faire à travers deux types d'installations :

- **les calories sont puisées dans le sol par le biais de sondes géothermiques**, horizontales ou verticales,



Les températures accessibles sont inférieures à 30°C, il s'agit de géothermie **très basse énergie** faisant appel à des pompes à chaleur.

- **les calories sont puisées dans une nappe aquifère par le biais d'un ou plusieurs forages** (on parle souvent de doublet géothermique, avec un forage d'extraction et un forage de réinjection).



Les ressources accessibles en dessous de 600m ont généralement une température inférieure à 30°C, il s'agit de **géothermie très basse énergie.**

Au-delà de 600m les températures atteignent généralement entre 30° et 90°C, il s'agit de géothermie basse énergie.

Seule la géothermie très basse énergie est étudiée ci-après pour l'approvisionnement énergétique de la zone. En effet, les besoins énergétiques et le contexte de la zone à construire ne permettent pas d'envisager le recours aux autres types de géothermies[7]. D'autre part, le schéma directeur énergétique de la concession Ode à la Mer réalisé par le bureau d'étude ETAMINES indique pour le secteur[8] : « la nappe des calcaires jurassiques est trop profonde dans le secteur pour envisager son exploitation (plusieurs centaines de mètres). L'exploitation de l'aquifère profond paraît donc inadaptée et nécessiterait des investissements très importants avec des contraintes techniques et réglementaires fortes ».

7.3.1 GISEMENT

La géothermie très basse énergie utilise la ressource des terrains ou des aquifères peu profonds (en général moins de 100 mètres de profondeur). La température exploitée est inférieure à 30°C, et souvent comprise entre 9°C et 15°C.

Pour exploiter cette gamme de températures, il est nécessaire de recourir à l'utilisation de pompes à chaleur (PAC). Ce sont des systèmes thermodynamiques fonctionnant sur le même principe que les réfrigérateurs, le processus étant inversé pour produire de la chaleur. Elles ont globalement un COP (Coefficient de Performance) de 4 ce qui signifie que pour 1 kWh d'électricité consommée, elles en produisent 4. La consommation pour le chauffage est donc divisée par quatre par rapport à un chauffage électrique ; le confort est également nettement amélioré si l'on compare avec un chauffage électrique direct.

Parmi les pompes à chaleur, plusieurs technologies existent, qui se distinguent suivant leur type de capteurs :

Pompes à chaleur sur capteurs horizontaux

Ils permettent une installation à moindre coût, mais ils nécessitent une grande surface de pose (1,5 à 2 fois la surface à chauffer). → **Cette technologie est réservée aux maisons existantes et ne sera donc pas étudiée dans le cadre de la ZAC.**

---

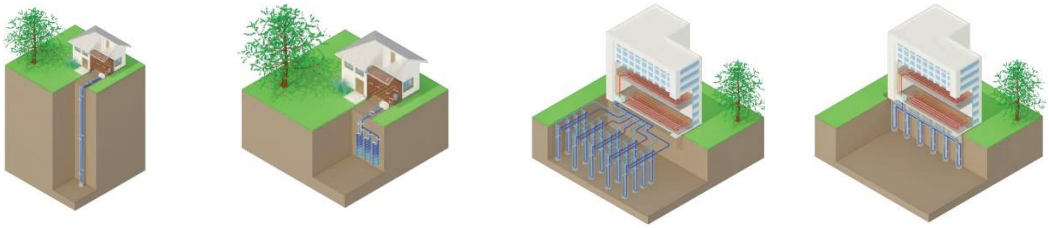
[7] *Les forages doivent être réalisés à des profondeurs telles qu'ils nécessitent un investissement très important qui sera difficilement rentabilisé si les besoins de chaleur ne sont pas très importants et très concentrés : on estime qu'il faut desservir au minimum 3 000 équivalents-logements dans un rayon de 3 à 4 km pour la géothermie basse énergie (source : ADEME IDF). Remarque : Un équivalent logement correspond à la consommation d'un logement de 70 m² construit selon les normes en vigueur au milieu des années 90, soit environ 11 MWh/an de chaleur utile en chauffage et en eau chaude.*

[8] *Sur la base d'un entretien avec M. Nguyen du BRGM*

Pompes à chaleur sur capteurs verticaux

Ils sont constitués de deux tubes de polyéthylène formant un U installés dans un forage (jusqu'à 200 m de profondeur) et scellés dans celui-ci par du ciment. On y fait circuler en circuit fermé de l'eau additionnée de liquide antigel. La capacité d'absorption calorifique moyenne d'un capteur vertical est d'environ 50 W par mètre de forage, il faut donc souvent utiliser deux ou plusieurs capteurs qui doivent être distants d'au moins une dizaine de mètres.

Sur un bâtiment neuf, il est très simple d'intégrer les sondes dans les fondations ou sur le terrain de l'immeuble.

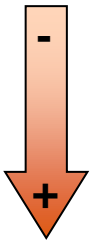


Sondes verticales | Echangeurs compacts | Champ de sondes | Fondations thermoactives

© geothermie-perspectives.fr, ADEME-BRGM

Il est nécessaire de faire appel à une entreprise de forage qualifiée et de respecter les procédures administratives concernant la protection du sous-sol.

La géothermie sur capteurs verticaux peut être envisagée dans les terrains aquifères comme non aquifères. L'intérêt de l'opération dépend essentiellement de la conductivité thermique des terrains traversés. Celle-ci varie selon l'humidité et la texture du terrain. La figure ci-dessous montre la variation de la conductivité thermique en fonction du type de sous-sol :



Graviers et sable secs
Argile, terre humide
Roche magmatique basique (exemple : basalte)
Calcaire (massif)
Grès / Graviers et sable saturés en eau
Roche magmatique acide (exemple : granit)
Gneiss
Masses d'eau souterraines en mouvement dans des graviers ou du sable

Comme indiqué précédemment, le bâtiment « Le Liner », déjà présent sur le site et d'une surface de 10 900m², est alimenté par de la géothermie sur sondes depuis 2014. 36 sondes géothermiques sont implantées sous le bâtiment et le parking de l'immeuble, à une profondeur de 99 mètres. Elles sont reliées à deux thermo-frigo-pompes d'une puissance totale de 818 kW, pouvant produire du chaud et du froid simultanément ou alternativement.

L'installation a produit 740 MWh/an de froid et 650 MWh/an de chaud en 2019. Elle est connectée depuis 2017 à une boucle d'eau tempérée permettant d'alimenter des logements situés de l'autre côté de l'avenue Georges Frèche, au Fenouillet.

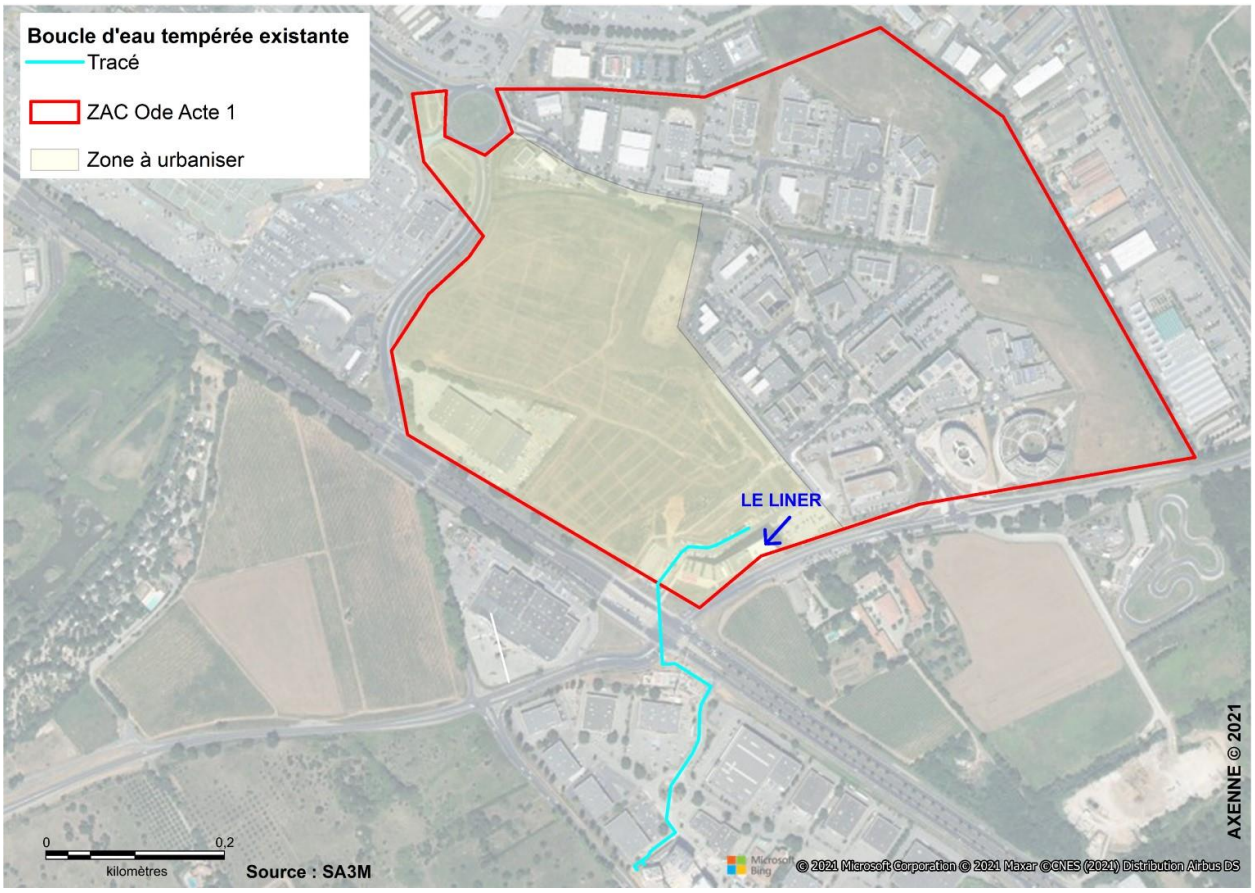


Figure 17 : Localisation de l'installation et de la boucle d'eau tempérée

Le bon fonctionnement de cette installation permet de supposer que la conductivité thermique des terrains sera intéressante sur l'ensemble du site, permettant de valoriser la chaleur du sous-sol via des sondes.

Pompes à chaleur sur nappe superficielle

Un atlas du potentiel d'utilisation des aquifères superficiels accompagné d'un outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse énergie a été réalisé par le BRGM sur l'ex-région Languedoc-Roussillon. Pour chaque aquifère superficiel, des données telles que la profondeur, l'épaisseur, la température, le débit, la minéralisation, le potentiel géothermique voire la puissance possible à installer, etc. sont disponibles.

L'étude repose sur une analyse multicritères du sous-sol, basée sur les paramètres suivants :

- La profondeur d'accès à la ressource ;
- Le débit exploitable ;
- La température de l'aquifère.

Remarque : cet atlas ne se substitue pas à une étude détaillée d'un bureau d'études spécialisé dans le but de confirmer la présence d'un potentiel supposé sur la zone considérée.

La carte suivante présente le potentiel du meilleur aquifère au droit de la ZAC.

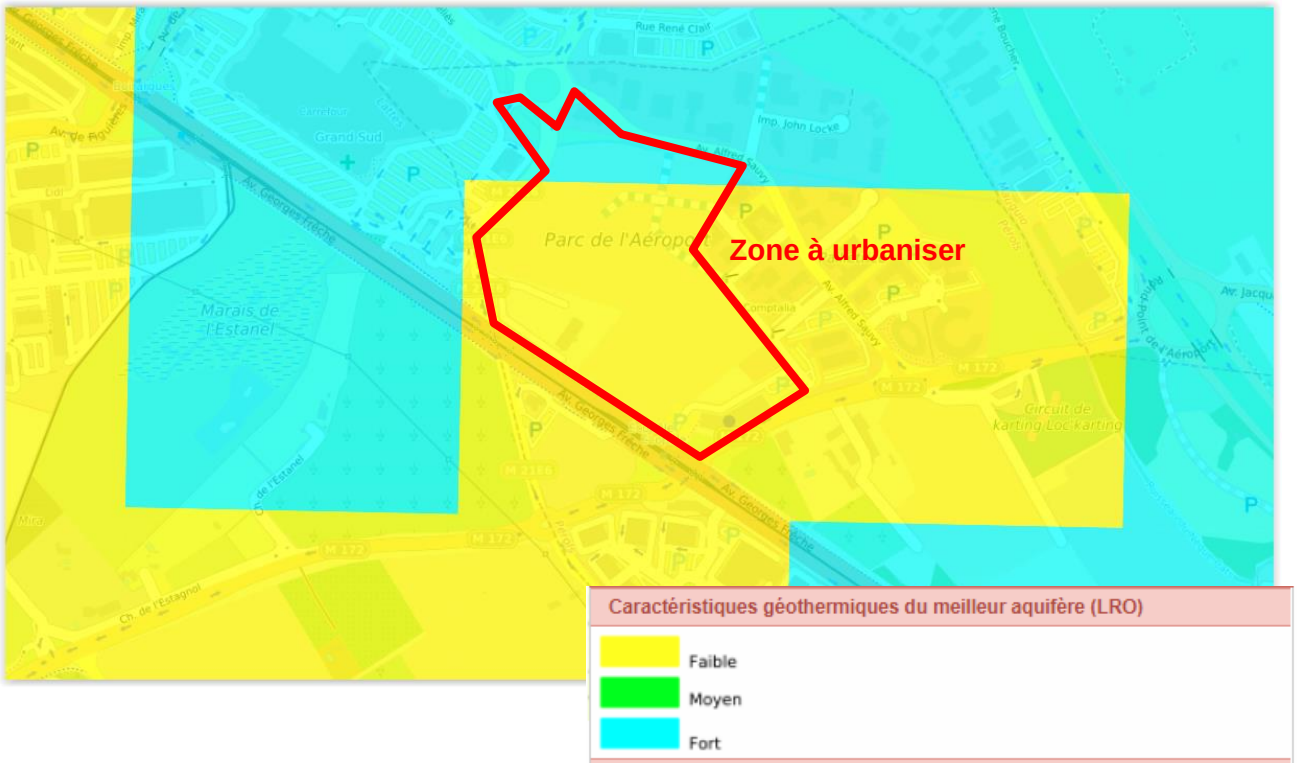


Figure 18 : Caractéristiques géothermiques du meilleur aquifère (source : BRGM)

La quasi-intégralité du site est située sur une zone présentant un potentiel faible. Le nord du site présenterait un potentiel fort, avec les caractéristiques suivantes : débit moyen mobilisable 150 m³/h, profondeur moyenne de 250 à 500 mètres, nappe peu à moyennement sensible.

Le schéma directeur énergétique de la concession Ode à la Mer réalisé par le bureau d'étude ETAMINES indique pour le secteur[9] : « les nappes dans les alluvions récentes et les formations argilo-sableuses astiennes sont insuffisamment productives pour l'usage que l'on souhaite en faire ».

7.3.2 CONTRAINTES DU SITE

Il existe plusieurs contraintes à la mise en place d'installations géothermiques : risques de mouvement de terrain, présence de cavités, risque de remontée de nappe, etc.

Le BRGM et le CEREMA ont établi une carte des zones relatives à la géothermie de minime importance[10] pour le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. Cette carte s'appuie sur une méthodologie d'élaboration prenant en compte neuf phénomènes redoutés pouvant apparaître lors d'un forage géothermique de minime importance :

- Affaissement / surrection lié aux niveaux d'évaporites,
- Affaissement / effondrement lié aux cavités (minières ou non minières),
- Mouvement ou glissement de terrain,
- Pollution des sols et des nappes,
- Artésianisme,
- Mise en communication d'aquifères,

[9] *Sur la base d'un entretien avec M. Nguyen du BRGM*

[10] *Sont considérées comme des exploitations de gîtes géothermiques à basse température relevant du régime de la minime importance :*

- *Les activités recourant à des échangeurs géothermiques fermés (géothermie sur capteurs verticaux) dont la profondeur de forage est inférieure à 200m et dont la puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW.*
- *Les activités recourant à des échangeurs géothermiques ouverts (géothermie sur nappe) dont la température de l'eau prélevée est inférieure à 25°C, dont la profondeur de forage est inférieure à 200m et dont la puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW. Les eaux prélevées doivent être en totalité réinjectées dans le même aquifère. Les débits prélevés ou réinjectés doivent être inférieurs à 80 m3/h.*

- Remontée de nappe.

La carte distingue trois zones selon l'importance des phénomènes. Celles-ci sont définies dans l'article 22-6 du décret n°2006-649 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains (article créé par le décret n°2015-15 du 8 janvier 2015) :

- Zones rouges : zones dans lesquelles la réalisation d'ouvrages de géothermie est réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peut pas bénéficier du régime de la minime importance.
  ➔ *Une installation géothermique dans ce type de zone relèvera alors de la géothermie de basse température et nécessitera donc le dépôt d'une demande d'autorisation.*
- Zones orange : zones dans lesquelles les activités géothermiques ne sont pas réputées présenter des dangers et inconvénients graves et dans lesquelles est exigée la production d'une attestation d'un expert agréé. Celle-ci doit constater la compatibilité du projet au regard du contexte géologique de la zone d'implantation et de l'absence de dangers et inconvénients graves.
  ➔ *Le régime déclaratif s'applique. La réalisation de l'ouvrage nécessite l'avis d'un expert géologue ou hydrogéologue et le recours à un foreur qualifié.*
- Zones vertes : zones dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter des dangers et inconvénients graves.
  ➔ *Le régime déclaratif s'applique. Il est nécessaire de recourir à un foreur qualifié.*

La totalité de la ZAC est éligible à la géothermie de minime importance sur capteurs verticaux ou sur nappe[11].

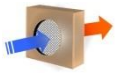
7.3.3 POTENTIEL

La géothermie très basse énergie sur capteurs verticaux ou pieux géothermiques présenterait un potentiel très intéressant sur le site au vu des performances de ce type d'installation sur le Liner.

L'adéquation entre le nombre de sondes à forer pour répondre aux besoins des futurs bâtiments et la surface foncière disponible au droit des futurs bâtiments sera à confirmer. Il faudra également veiller à adapter le planning de forage au phasage des constructions.

La géothermie très basse énergie sur la nappe ne semble pas envisageable sur la ZAC, la nappe étant située à une profondeur relativement importante.

7.4 AEROTHERMIE



L'aérothermie est la récupération de chaleur dans l'air extérieur ou dans l'air de renouvellement extrait des bâtiments (cf. Article 19 de la Loi 2009-967 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite Grenelle I).

L'exploitation de la chaleur contenue dans l'air se fait au moyen d'une pompe à chaleur.

7.4.1 GISEMENT

SUR AIR EXTERIEUR

Le prélèvement de la chaleur sur l'air extérieur ne peut pas être réalisé de manière efficace dans n'importe quelles conditions : en effet, lorsque la température extérieure est trop basse, le coefficient de performance de la pompe à chaleur diminue jusqu'à présenter un rendement équivalent à celui d'un radiateur électrique. Il s'agit donc d'éviter les installations dans les régions présentant un hiver rigoureux, ou alors de ne les utiliser qu'en mi saison avec un autre équipement pour l'hiver. Par ailleurs, le sel contenu dans l'air marin peut poser un problème de corrosion au niveau de la pompe à chaleur, généralement située à l'extérieur.

[11] https://www.geothermies.fr/viewer/

Pérols ne présente pas d'hivers très rigoureux, de ce fait, ce type d'installation est envisageable.

SUR AIR VICIE

L'air extrait d'un bâtiment lors du processus de renouvellement d'air est chaud ; il est dommage de perdre les calories qu'il contient, sachant qu'il faut chauffer l'air extérieur froid qui le remplace. Deux applications principales existent pour récupérer la chaleur contenue dans l'air vicié :

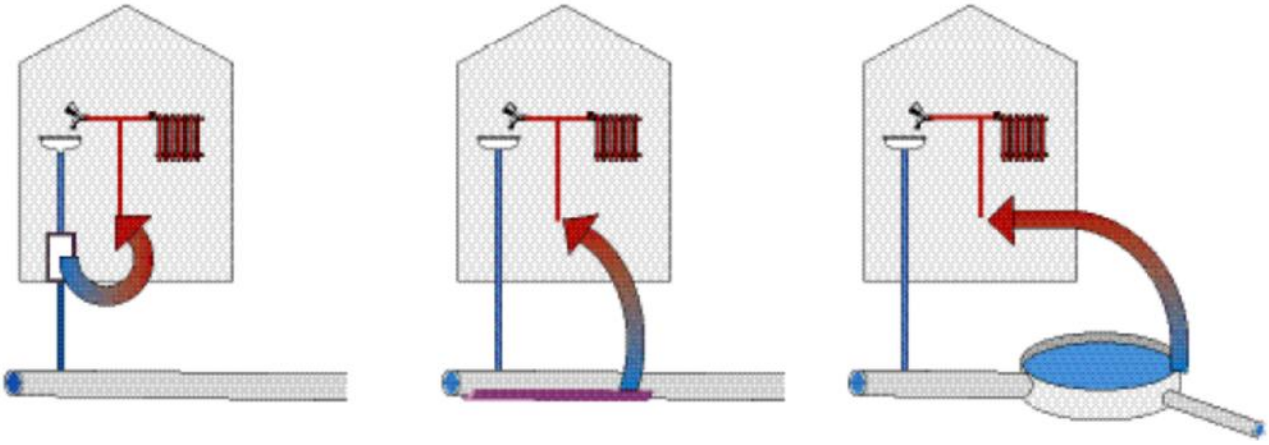
- La ventilation mécanique contrôlée (VMC) thermodynamique : la chaleur de l'air vicié est transférée à l'air neuf entrant avant son arrivée dans le bâtiment puis une pompe à chaleur relève la température jusqu'au niveau souhaité,
- Le chauffe-eau thermodynamique : une pompe à chaleur utilise la chaleur de l'air pour chauffer un ballon d'eau chaude sanitaire.

Ce type d'équipement peut être implanté dans n'importe quelle partie de la France. Leur pertinence est plutôt liée à l'usage du bâtiment : par exemple, la mise en place de chauffe-eau thermodynamiques n'est intéressante que lorsque les besoins en eau chaude sanitaire sont suffisamment importants, ce qui serait le cas pour l'hôtel ou encore les vestiaires.

7.5 RECUPERATION DE CHALEUR SUR EAUX USEES

En hiver, les eaux usées sont plus chaudes que l'air extérieur, constituant ainsi une source de chaleur. Au niveau des collecteurs d'eaux usées, le cas inverse se produit en été ; les bâtiments peuvent être rafraîchis grâce aux eaux usées. La récupération de chaleur (ou de froid) se fait de manière simple : un fluide caloporteur capte l'énergie des eaux usées par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur. L'énergie peut être récupérée à différents niveaux : au niveau du bâtiment, au niveau de la station d'épuration, ou au niveau des collecteurs d'eaux usées.

Une présentation détaillée des différents systèmes est disponible en annexe.



Récupération de l'énergie au niveau du bâtiment

Récupération de l'énergie au niveau des canalisations

Récupération de l'énergie au niveau de la station d'épuration

Figure 19 : Récupération de l'énergie des eaux usées (Source : Gestion et services publics, Suisse)

7.5.1 GISEMENT

7.5.1.1 Au niveau du bâtiment

La chaleur est récupérée sur les eaux usées avant qu'elles n'atteignent le collecteur d'eaux usées, c'est-à-dire lorsqu'elles sont encore à l'intérieur du bâtiment.

Les eaux usées des cuisines, salles de bain, lave-linge et lave-vaisselle sont acheminés à une température moyenne de 28°C vers un échangeur de chaleur. Les calories des eaux usées sont transmises au circuit secondaire via l'échangeur. L'eau ainsi préchauffée peut être directement introduite dans un ballon d'eau chaude qui portera sa température à 55°C grâce à l'énergie souhaitée (solaire, bois, électricité, gaz), tel que proposé par exemple par le système Thermocycle[12]. Elle peut également être acheminée vers une pompe à chaleur. Ce système est proposé par exemple par Biofluides Environnement, PME française.

Les eaux grises (issues des douches, des lavabos, des machines à laver, etc.) doivent être séparées des eaux vannes (issues des WC). Seules les eaux grises peuvent être utilisées pour la récupération de chaleur. Si cela peut conduire à des coûts importants sur des bâtiments existants, cette contrainte engendre peu de surcoûts pour des bâtiments à construire.

Cette solution est intéressante pour les bâtiments présentant des consommations d'eau chaude importantes tout au long de l'année. Elle pourrait être intéressante à mettre en place sur l'hôtel ainsi que sur les vestiaires.

7.5.1.2 Au niveau des collecteurs

La mise en œuvre de la récupération de chaleur sur eaux usées nécessite que certaines conditions soient respectées par le réseau d'eaux usées et le/les bâtiments à alimenter.

Sur les bâtiments à chauffer/rafraîchir :

Paramètre	Contrainte/Recommandation
Type de bâtiment	La demande de chauffage ou d'ECS doit être régulière pour assurer un temps d'exploitation élevé des pompes à chaleur, et améliorer leur rentabilité. Bâtiments les plus adaptés : piscines, résidence de logements, bureaux, hôpitaux, maisons de retraite, hôtels. Les salles de sports, salles de spectacles et centres commerciaux sont à éviter.
Distance collecteur/bâtiments	Préférable : inférieure à 350 m Cas favorable : distance inférieure à 200 m
Température de fonctionnement	Une température d'exploitation basse permet une meilleure efficacité des pompes à chaleur utilisées par la récupération de chaleur sur eaux usées. Les systèmes de chauffage basse température sont préconisés dans le cas de constructions neuves (T < 65°C)
Puissance thermique	Minimum 150 kW (Puissance nécessaire pour l'alimentation d'une cinquantaine de logements collectifs)
Volume de consommation	Une consommation supérieure à 1 200 MWh/an est très favorable à la mise en place de l'installation de récupération de chaleur. Une consommation inférieure à 800 MWh/an est plutôt défavorable.
Climatisation	Utiliser des pompes à chaleur réversibles pour climatiser le bâtiment en été permet d'augmenter la rentabilité de l'installation.

Figure 20 : Contraintes et recommandations sur les bâtiments alimentés par la chaleur des eaux usées
Sources : OFEN[13], Lyonnaise des Eaux

Sur le réseau de collecte des eaux :

Paramètre	Contrainte/Recommandation
Débit des eaux usées	Débit minimum 15 L/s (moyenne quotidienne par temps sec). Ce débit est atteint pour 8 000 à 10 000 personnes raccordées au réseau. **Débit favorable : entre 15 et 30 L/s** **Débit très favorable : supérieur à 50 L/s**
Diamètre du collecteur	Collecteur existant : **diamètre minimum de 800 mm pour que l'échangeur de chaleur puisse être installé.** Renouvellement ou extension de réseau : **un diamètre de 400 mm est suffisant** (l'échangeur est intégré directement à la canalisation). Installation impossible : diamètre inférieur à 400 mm.

[12] https://www.batiproduits.com/fiche/produits/procede-de-recuperation-de-chaleur-sur-eaux-gr-p69132948.html
[13] *Office Fédéral de l'Énergie Suisse. Il propose un programme en faveur de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, SuisseEnergie. Dans ce cadre, un « Guide pour les Maîtres d'Ouvrage et les communes » sur l'utilisation des eaux usées comme source de chauffage ou de rafraîchissement est mis à disposition.*

Paramètre	Contrainte/Recommandation
Température des eaux usées	La température des eaux en entrée de la station d'épuration doit de préférence être supérieure à 12°C[14] L'abaissement de la température des eaux usées peut avoir des effets négatifs sur la nitrification et l'élimination de l'azote dans les STEP à boues activées. Cet aspect doit être étudié lors de l'étude de faisabilité.
Âge des conduites	L'installation d'un échangeur de chaleur est plus avantageuse dans le cas où la canalisation doit être rénovée ou remplacée.

Figure 21 : Contraintes et recommandations sur les canalisations d'eaux usées

Sources : OFEN, VSA (Association Suisse des professionnels de la protection des eaux), Lyonnaise des Eaux

D'après les plans fournis par le cabinet MERLIN, les canalisations de collecte des eaux usées déjà présentes sur la ZAC ou à proximité directe de celle-ci (avenue Georges Frèche) ont un diamètre maximal de 500 mm, ce qui est trop faible pour permettre la mise en place d'un échangeur de chaleur à même de récupérer les calories des eaux usées.

Les diamètres des réseaux à créer n'étant pas encore définis, la pertinence de la récupération de chaleur ne peut être estimée.

7.5.1.3 Au niveau d'une station de relevage

Il existe une solution de récupération de chaleur des eaux usées au niveau des stations de pompage (ou stations de relevage). Ces stations sont souvent intéressantes car elles sont situées en ville et donc proches des consommateurs de chaleur.

Ce système utilise une fosse de relevage existante. Une partie des eaux usées est pompée de la fosse de la station de pompage avant STEP vers des échangeurs coaxiaux et transférée vers le collecteur après passage dans l'échangeur comme l'illustre la figure suivante.

Cette technologie est encore en cours de développement et il y a aujourd'hui très peu d'installations de ce type en Europe.

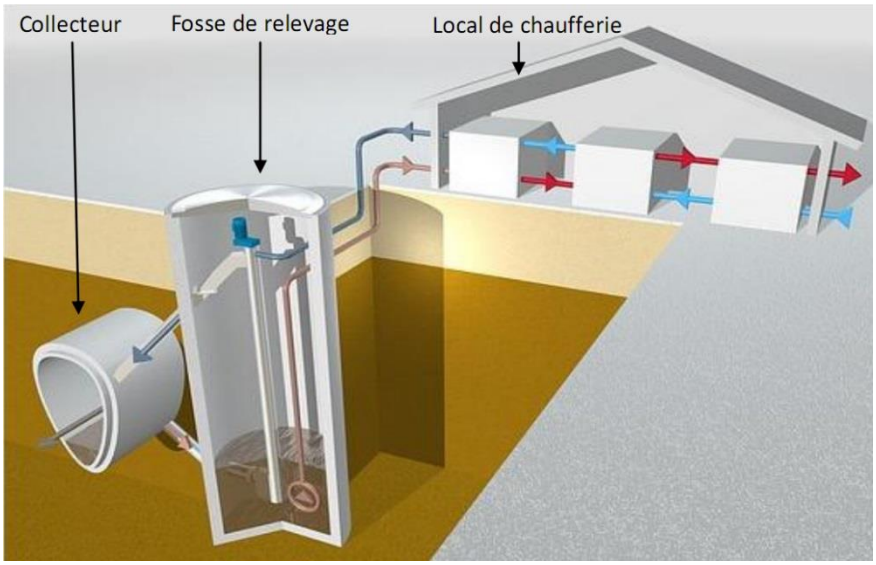


Figure 22 : Récupération de chaleur à partir d'une fosse de relevage *Source : www.huber.de*

Comme pour les procédés précédents, certaines conditions sont à respecter et plusieurs éléments à considérer au cours de la conception :

- C'est une solution intéressante pour des besoins en chaleur importants (minimum de 150 kW) ;
- Les débits dans le collecteur doivent être au minimum de 15 l/s et la température minimale des eaux usées ne doit pas être en dessous de 10 °C ;
- Les eaux usées sont filtrées avant d'entrer dans l'échangeur de chaleur. Des essais sont en cours pour limiter la formation de biofilm sur les parois ;
- Les échangeurs de chaleurs utilisés sont de capacité standard avec la possibilité de les monter en série. Ces échangeurs ne se trouvent pas directement dans le collecteur mais dans un local de chaufferie au-dessus et disposent d'un système de nettoyage automatique.

[14] *Rabtherm, société ayant développé le procédé de récupération de chaleur sur eaux usées, a étudié l'impact de ce procédé sur la température des eaux usées. Pour un débit de 60 L/s et une puissance de chauffage de 500 kW, la température est diminuée de 1°C pour un gain de 4°C du fluide caloporteur. À l'inverse, en mode froid, les eaux usées sont réchauffées de 4°C (de 24 à 28°C) alors que le fluide caloporteur perd 6°C.*

- L'extraction de chaleur des eaux usées a une influence sur les procédés de la STEP en aval. Des conditions limites sont à respecter en suivant les recommandations de l'exploitant de la STEP.

D'après le schéma directeur énergie réalisé par ETAMINES, le poste de relevage du Fenouillet présente une quantité de chaleur récupérable importante, de l'ordre de 5 800 MWh/an actuellement et 10 200 MWh/an à l'horizon 2031. Ce poste étant situé à une distance de l'ordre de 700 à 800 m de la ZAC, il peut être une solution intéressante d'approvisionnement d'une boucle d'eau tempérée.

7.5.1.4 Au niveau de la station d'épuration

La récupération de chaleur en sortie de station d'épuration (STEP) est un procédé présentant un potentiel énergétique important. Cette énergie peut être utilisée sur le site ou peut assurer le chauffage de bâtiments situés à une distance acceptable de la STEP.

Cette solution de récupération de chaleur des eaux usées présente de nombreux atouts :

- Très fort potentiel de puissance thermique,
- Simplicité de mise en œuvre (génie civil limité, pas d'arrêt d'exploitation du réseau en amont, pas de contrainte d'installation d'équipements sur le domaine public, nombre d'acteurs généralement plus restreint que pour une installation sur le réseau d'eaux usées, etc.),
- Elle s'applique parfaitement aux solutions de production de chaleur centralisée, sous réserve que des besoins de chaleur suffisants existent à proximité,
- Pas d'effet sur la STEP (pas de problème de refroidissement des eaux usées avant rejet),
- Retours d'expérience positifs (une trentaine de stations d'épuration sont équipées en Suisse).

CONTRAINTES ET RECOMMANDATIONS

Des contraintes sont néanmoins à prendre en compte :

- Les besoins de chaleur à proximité de l'installation doivent être suffisants pour que celle-ci soit viable. Le réseau de chaleur permettant de chauffer ces consommateurs doit avoir une densité énergétique minimale de 1,5 MWh/mètre linéaire de canalisations. Cette valeur correspond au critère de l'ADEME pour bénéficier du Fonds chaleur.
- La STEP doit avoir une capacité minimale de 10 000 équivalents-habitants, afin que le débit des eaux épurées soit suffisant. Un débit hivernal par temps sec minimal de 15 L/s est recommandé.
- Il doit y avoir une adéquation entre les variations du débit des eaux usées et les variations des besoins en chaleur des consommateurs.
- La STEP doit disposer d'un espace suffisant pour implanter les éléments nécessaires à la récupération de chaleur. En effet, la taille des échangeurs est importante.
- Cette solution ne convient pas aux territoires d'altitudes élevées, pour lesquels les températures de rejet des eaux usées sont trop faibles,
- Il est préférable de mettre en place un circuit intermédiaire entre les eaux usées épurées et la pompe à chaleur car celle-ci n'est pas conçue pour travailler avec des fluides agressifs.
- Une bonne conception et exploitation permettent d'éviter la corrosion et l'encrassement des échangeurs de chaleur.

La station d'épuration la plus proche est celle de MAERA : elle est située à environ 2 km de la ZAC et traite les eaux usées de 470 000 équivalent-habitants.

Au vu de sa capacité de traitement elle présenterait un débit largement suffisant à la récupération de chaleur. En revanche, la mise en place d'une récupération de chaleur sur cette STEP ne semble pas pertinente étant donnés l'éloignement et les contraintes de franchissement pour la création d'un réseau de chaleur depuis la STEP (franchissement du Lez).

7.5.2 POTENTIEL

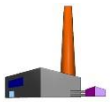
La récupération de chaleur sur la station d'épuration présente trop de contraintes pour alimenter la ZAC.

La récupération de chaleur sur les réseaux d'eaux usées existants n'est pas envisageable au vu de leurs diamètres. Cette solution n'a pas pu être étudiée sur les réseaux à créer.

En revanche, récupérer la chaleur sur le poste de relevage du Fenouillet semble intéressant en première approche. Une étude plus poussée serait toutefois nécessaire pour déterminer précisément les conditions de cette récupération ainsi que l'adéquation horaire de la chaleur disponible avec les besoins de la ZAC.

Enfin, il est faisable a priori d'installer des systèmes de récupération de chaleur sur eaux usées pour les bâtiments ayant des besoins importants et réguliers en eau chaude sanitaire (équipements sportifs, hôtel, etc.).

7.6 CHALEUR FATALE



On entend par chaleur fatale une production de chaleur dérivée d'un site de production mais qui n'en constitue pas l'objet premier, et qui, de ce fait, n'est pas nécessairement récupérée. Les sources de chaleur fatale sont très diversifiées. Il peut s'agir de sites de production d'énergie (les centrales nucléaires), de sites de production industrielle, de bâtiments tertiaires d'autant plus émetteurs de chaleur qu'ils en sont fortement consommateurs (hôpitaux, etc.), ou encore de sites d'élimination comme les unités d'incinération de déchets, etc.).

7.6.1 GISEMENT

Chaleur fatale produite sur la station d'épuration MAERA

La station d'épuration MAERA a pour projet d'incinérer les boues produites sur site. La chaleur fatale issue du refroidissement des fumées sera récupérée. Elle serait de l'ordre de 7 800 MWh/an[15].

Elle pourrait être valorisée par le réseau de chaleur de Port Marianne, situé à 1,8 km à vol d'oiseau de la STEP. La ZAC Ode Acte 1 est située à une distance équivalente de la STEP, de l'ordre de 2 km à vol d'oiseau. Le raccordement à la ZAC comme le raccordement au réseau de Port Marianne nécessite le franchissement du Lez.

Chaleur fatale produite sur l'UIOM

Les UIOM de Sète et Lunel-Viel sont situés à une distance trop importante de la ZAC (plus de 20 km) pour envisager la valorisation de leur chaleur fatale sur le site.

Chaleur fatale produite par d'autres sources

Le centre commercial Grand Sud est situé au nord-ouest de la ZAC. Il comprend un hypermarché Carrefour employant 406 salariés (Annuaire des entreprises de France, CCI). La récupération de chaleur fatale sur cet équipement peut se faire à deux niveaux :

- Sur les groupes froid
- Sur l'air extrait

Il est probable qu'en cas de récupération de cette chaleur fatale, celle-ci puisse être valorisée directement en interne pour les besoins du site (préchauffage d'eau chaude sanitaire ou d'eau de chauffage, préchauffage de l'air de l'espace de vente ou de l'air de zones de stockage, etc.).

La valorisation en externe auprès d'un autre maître d'ouvrage serait beaucoup plus complexe à mettre en place, que ce soit au niveau technique, logistique ou encore contractuel (chaleur fatale produite toute l'année mais utilisation uniquement une partie de l'année sur un réseau de chaleur, répartition du financement des équipements de récupération de chaleur à définir, etc.).

[15] *Schéma directeur énergétique, Etamines*

7.6.2 POTENTIEL

Les gisements de chaleur fatale sont soit trop éloignés, soit probablement déjà valorisés.

7.7 RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT

7.7.1 CONTEXTE

L'article L128-4 du Code l'Urbanisme demande à ce que soit réalisée une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables des nouvelles zones aménagées qui font l'objet d'une étude d'impact ; il précise également que doit être réalisée une analyse de l'opportunité de raccorder les constructions de ces zones à un réseau de chaleur ou de froid existant et ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération.

7.7.2 GISEMENT

Comme indiqué au paragraphe 7.3.1, une boucle d'eau alimente déjà le Liner ainsi qu'une partie du Fenouillet via des sondes géothermiques forées sous le Liner.

La production actuelle de la boucle d'eau n'est pas suffisante pour alimenter de nouveaux bâtiments. En revanche, l'installation de sondes sous les bâtiments à construire et leur raccordement à la boucle d'eau existante est une solution intéressante (cf. chapitre 2 « Opportunité de réseau de chaleur ou de froid »).

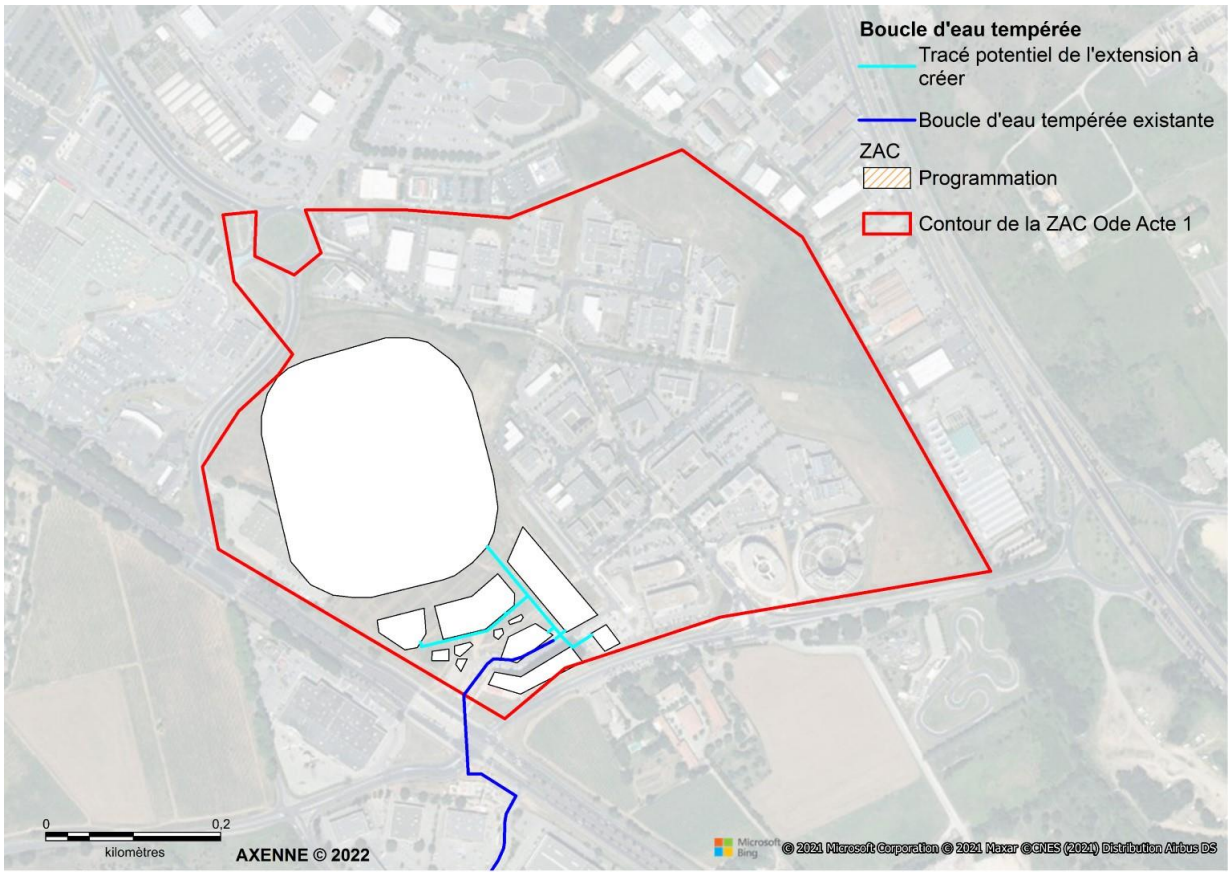


Figure 23 : Localisation de la boucle d'eau tempérée

7.7.3 POTENTIEL

Le raccordement à la boucle d'eau tempérée existante sur le site représentera la source d'approvisionnement principale pour la chaleur et le froid des bâtiments à construire.

8 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE

8.1 ÉNERGIE SOLAIRE

Les modules photovoltaïques produisent de l'électricité à partir de l'ensoleillement (les photons de la lumière du soleil) ; il ne faut donc pas les confondre avec les panneaux solaires thermiques qui produisent de la chaleur qui est transmise par un fluide caloporteur.

8.1.1 GISEMENT

L'ensoleillement du territoire et les données météorologiques constituent le gisement brut des filières solaires. Ces données servent de base au calcul du productible des installations solaires thermiques et photovoltaïques.

Voir § 1.1 pour plus d'informations.

8.1.2 PRODUCTIBLE

Le productible d'une installation solaire photovoltaïque est illustré sur une toiture de 100 m² (simulation PVGIS[16]) :

- 15 kWc en technologie polycristallin,
- environ 100 m² de modules photovoltaïques polycristallins,
- orientation sud et inclinaison à 38°.

Avec ces hypothèses, l'installation produit environ 22,3 MWh/an, soit 1 486 h/an de fonctionnement à puissance nominale.

PHOTOVOLTAÏQUE EN TOITURE

Les toitures des bâtiments prévus sur le **pôle mixte** représentent 13 200 m². En supposant que 50% de cette surface est couverte par des panneaux (prise en compte des équipements présents en toiture), 1,26 MWc de modules pourraient être installés. La production serait alors de **1 870 MWh/an**.

L'Agence Fontes indique que le **projet Stade** prévoit de développer 7 000 m² de panneaux photovoltaïques en toiture. En prenant les mêmes hypothèses de production que pour le pôle mixte, la puissance installée serait de 1,05 MWc et la production annuelle de **1 560 MWh/an**.

OMBRIERES PHOTOVOLTAÏQUES

D'après les éléments à disposition les parkings seraient intégrés aux silos présents de part et d'autre du stade ainsi qu'en partie souterraine sur 2 lots du pôle mixte. Il n'y aurait donc pas de parkings en surface susceptibles d'être couverts par des ombrières photovoltaïques, permettant à la fois de protéger les voitures des intempéries (soleil/pluie), mais surtout produire de l'électricité renouvelable.

On peut toutefois noter qu'équiper une place de parking de 12,5 m² permettrait de produire 2,8 MWh/an avec une installation de 1,9 kWc.

8.1.3 CONTRAINTES

D'une manière générale, les contraintes sont les mêmes que pour la filière solaire thermique ; voir § 7.1.3.

[16] https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/fr/tools.html

8.1.4 POTENTIEL

Des panneaux solaires photovoltaïques peuvent être mis en place sur tous les bâtiments, dans la mesure où il n'y a pas de contraintes réglementaires.

La filière solaire photovoltaïque présente un gisement très intéressant, et pourrait être sollicitée pour contribuer à l'approvisionnement en électricité du site. Il faudra cependant faire attention aux éventuels ombrages des bâtiments les uns sur les autres.

8.2 ÉNERGIE EOLIENNE

Une éolienne produit de l'électricité à partir du vent ; elle récupère l'énergie cinétique du vent. En tournant, le rotor entraîne un arbre raccordé à une génératrice électrique qui se charge de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique.

Remarque : Nous n'aborderons pas les grands parcs éoliens. En effet, le type de machines utilisées ayant une hauteur de 100 mètres, ils ne se prêtent pas à l'implantation sur le site, la seule contrainte d'urbanisme rendant impossible l'installation de ce type d'équipement. Seul l'éolien dit « urbain » ou « petit éolien » est abordé ici.

8.2.1 PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE

Certains concepteurs ont créé des éoliennes dites urbaines, adaptées aux conditions particulières que sont la turbulence, les vitesses de vent affectées par l'environnement, les vibrations, le bruit ou encore les considérations d'aménagement. Elles peuvent se classer en deux grandes catégories suivant l'orientation de l'axe de leurs pales, horizontal ou vertical.

ÉOLIENNES A AXE HORIZONTAL

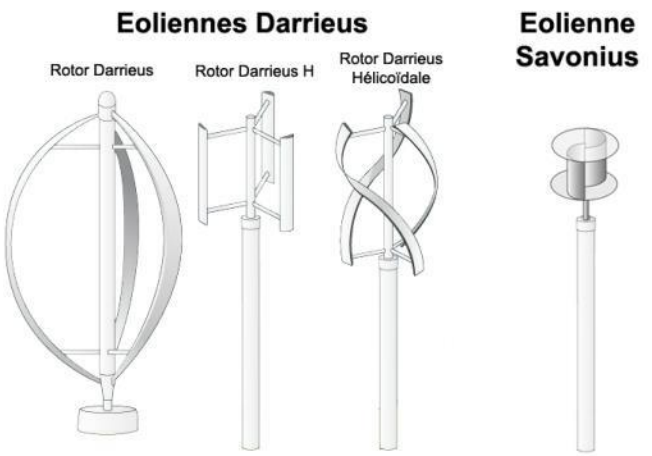
Les éoliennes urbaines à axe horizontal sont similaires aux éoliennes classiques quant à leur principe de fonctionnement. Les pales mises en rotation par l'énergie cinétique du vent entraînent un arbre raccordé à une génératrice qui transforme l'énergie mécanique créée en énergie électrique.
Les éoliennes urbaines à axe horizontal se caractérisent par leur petite taille, allant de 5 à 20 mètres, par le diamètre des pales (2 à 10 m) et par leur puissance atteignant pour certaines 20 kW.

ÉOLIENNES A AXE VERTICAL

Ces éoliennes à axe vertical ont été conçues pour répondre au mieux aux contraintes engendrées par les turbulences du milieu urbain. Grâce à ce design, elles peuvent fonctionner avec des vents provenant de toutes les directions et sont moins soumises à ces perturbations que les éoliennes à axe horizontal. Elles sont relativement silencieuses et peuvent facilement s'intégrer au design des bâtiments ou équipements publics (éclairage public). Leur faiblesse réside principalement dans la faible maturité du marché qui engendre des coûts d'investissement relativement importants. En raison de leur petite taille, l'énergie produite est faible.

En milieu urbain, la vitesse du vent et sa direction sont imprévisibles surtout près des bâtiments. Là où la turbulence ne peut être évitée, les éoliennes à axe vertical peuvent plus facilement capter la ressource éolienne.

Il existe deux grands types d'éoliennes à axe vertical : le type Darrieus et le type Savonius.



Les avantages de l'éolienne verticale type Darrieus sont nombreux :

- Elle peut être installée dans des zones très venteuses, puisqu'elle peut subir des vents dépassant les 220 km/h.
- En outre, cette éolienne émet moins de bruit qu'une éolienne horizontale et occupe moins de place. De plus, il est possible de l'installer directement sur le toit.
- Autre aspect pratique, son générateur peut ne pas être installé en haut de l'éolienne, au centre des rotors, mais en bas de celle-ci. Ainsi plus accessible, il peut être vérifié et entretenu plus facilement.

Les inconvénients de l'éolienne verticale Darrieus sont un faible rendement et son démarrage difficile dû au poids du rotor sur le stator.

Les avantages de l'éolienne de type Savonius sont :

- d'une part, son esthétisme et la possibilité de l'installer sur une toiture,
- d'autre part, le fait qu'elle fonctionne même avec un vent faible (contrairement au système Darrieus), quelle que soit sa direction.

Comme l'éolienne type Darrieus, l'éolienne Savonius n'émet que peu de bruits, mais a un faible rendement.

8.2.2 GISEMENT

Aucune rose des vents spécifique au site n'est identifiée. Il est difficile de déterminer précisément le gisement d'un site sans une étude de vent locale, réalisée à l'aide d'un mât de mesures, d'au moins une année sur le lieu même pressenti pour l'implantation de l'éolienne. Cependant, le coût d'une telle étude peut être prohibitif par rapport à la production attendue de l'éolienne ; il est alors préférable de se référer au retour d'expérience des projets existants et aux enseignements qu'il en découle sur l'implantation conseillée des éoliennes urbaines.

Quoi qu'il en soit, les vents peuvent être « freinés » par la topographie du site ; le régime aéraulique est extrêmement perturbé par la proximité du sol, mais aussi par les nombreux obstacles (arbres, bâtiments, etc.). Aussi, le positionnement le plus favorable aux éoliennes urbaines se trouve en toiture des bâtiments les plus hauts et dans l'axe des vents dominants pour s'affranchir au maximum des perturbations créées par les autres bâtiments qui seront construits.

8.2.3 CONTRAINTES LORS DE L'INSTALLATION SUR LES BATIMENTS

Afin d'identifier les conditions nécessaires à une meilleure intégration des éoliennes en milieu urbain et de promouvoir l'émergence de la technologie en tant que moyen de production d'électricité à l'échelle des villes en Europe, un projet européen, WINEUR, a vu le jour en 2005. Ce projet a permis d'obtenir les premiers éléments de réponse par rapport cette technologie. Les conclusions que l'on peut tirer de cette expérience en termes de potentiel sont les suivantes :

- Le vent soufflant autour d'un bâtiment est dévié en atteignant le haut du bâtiment. Afin d'utiliser de manière optimale le vent soufflant au-dessus du bâtiment, il faut une certaine marge entre le bord du bâtiment et la flèche de l'éolienne. Cela doit être calculé pour chaque site. Cela est traduit par la simulation réalisée par un bureau d'études hollandais, DHV.

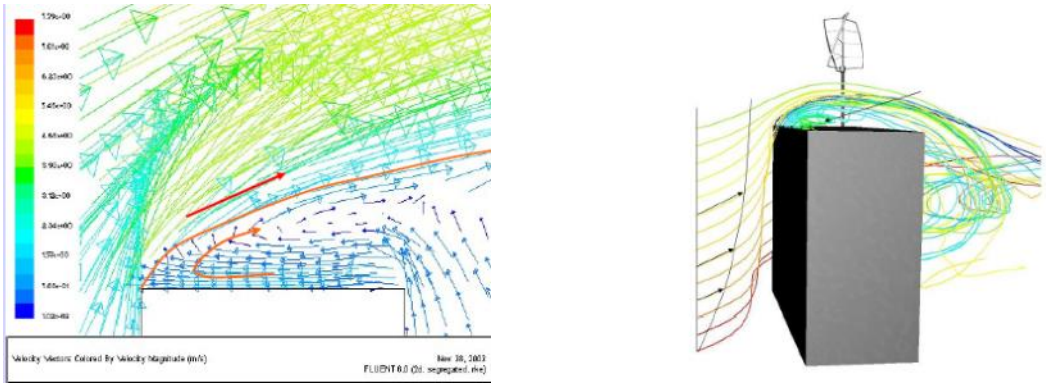


Figure 24 : Comportement du vent dans un environnement urbain (source : DVH)

- La turbulence en milieu urbain en dessous du toit peut pousser les éoliennes à axe horizontal à chercher le vent sans réussir à capter un flux d'air lui permettant de générer de l'électricité.
- Là où les directions de vent dominant convergent, l'utilisation d'éolienne à axe vertical fixe peut être possible, cependant elle doit être placée de manière à récupérer le vent au-dessus du bâtiment et donc placée pas trop bas.
- Lors de la sélection d'une éolienne, la courbe de puissance doit être évaluée en considérant le profil du vent. Cependant, une vitesse de vent moyenne ne permettra pas forcément d'obtenir des informations adéquates, même si celle-ci est mesurée à un endroit précis pour une installation spécifique. Idéalement, la durée relative à une gamme de vent doit être considérée avec la courbe de puissance.

Nous avons pu voir qu'il est difficile de calculer le productible de l'éolienne et de définir la position optimale de celle-ci. Quelques règles permettent de choisir un emplacement pour une meilleure récupération de la ressource :

- Le toit où sera installée l'éolienne doit être bien au-dessus de la hauteur moyenne des constructions environnantes (environ 50%) ;
- Dans un contexte urbain présentant une importante rugosité, une turbine à axe horizontal sera installée à une hauteur supérieure de 35% à la hauteur du bâtiment. Cela permet d'éviter les phénomènes de turbulence. Cependant, des turbines à axe vertical adaptées aux flux turbulents peuvent permettre d'éviter cette contrainte de hauteur ;
- Pour sélectionner un site adéquat, la rose des vents doit indiquer une vitesse moyenne minimum de 5 m/s ;
- Le site sélectionné doit présenter une productivité énergétique de 200 à 400 kWh/m².an, mais cela peut varier d'un facteur 2 à 5 en fonction du site. Le choix du site est donc particulièrement décisif, mais difficile.

8.2.4 REGLEMENTATION

Si la hauteur du mât ne dépasse pas 12 mètres (sans les pales) alors il n'est pas nécessaire de déposer un permis de construire, il n'y a pas non plus d'enquête publique et il n'y a strictement aucune modalité d'évaluation de l'impact sur l'environnement. Si elles ne sont pas encore rentables, le législateur a toutefois facilité leur implantation puisqu'au strict opposé des grands parcs éoliens, aucune autorisation n'est nécessaire pour installer ce type de machine si la hauteur du mât est inférieure à 12 mètres.

Il est toutefois nécessaire de respecter la réglementation en vigueur, même si aucune autorisation n'est nécessaire. Cette remarque prévaut en particulier pour le respect de la réglementation contre le bruit de voisinage. Dans un rayon de 10km autour de ces radars, il est nécessaire d'obtenir l'aval de l'exploitant concernant la mise en place des machines. D'autre part, les éoliennes ne peuvent pas être implantées à moins de 300 m d'un site nucléaire ou d'une installation classée en raison de produits toxiques, explosifs, comburants et inflammables.

8.2.5 POTENTIEL

L'éolien urbain est désavantagé par les contraintes techniques (rugosité du vent, etc.), économiques (coût élevé de la technologie), et une mise en œuvre parfois délicate (réglementation).

8.3 HYDROELECTRICITE ET ENERGIES MARINES

Il n'y a pas de potentiel exploitable sur le site.

9 FILIERE DE PRODUCTION DE BIOGAZ

9.1 BIOMASSE METHANISABLE

La digestion anaérobie, également appelée méthanisation, est la décomposition biologique de matières organiques par une activité microbienne naturelle ou contrôlée, en l'absence d'oxygène. Ce procédé conduit à la production de biogaz.

Les déchets organiques pouvant être valorisés en méthanisation proviennent de différents types de producteurs :

- **Les ménages et collectivités locales** : fraction fermentescible des ordures ménagères, boues issues de stations d'épuration, huiles alimentaires usagées produites par la restauration, etc.
- **Les exploitations agricoles** : effluents d'élevage (lisiers, fumiers), résidus de cultures (pailles de céréales ou oléagineux, cannes de maïs), cultures dédiées, etc.
- **Les industries agroalimentaires** : déchets organiques de natures très variées (graisses de cuisson, sous-produits animaux, effluents, lactosérum, etc.).

La méthanisation consiste à stocker ces déchets dans une cuve hermétique appelée « digesteur » ou « méthaniseur », dans laquelle ils seront soumis à l'action des bactéries, en l'absence d'oxygène. La fermentation des matières organiques peut durer de deux semaines à un mois, en fonction de plusieurs paramètres dont la température de chauffage du mélange.

La méthanisation des ressources organiques permet de produire :

- Du **biogaz** : composé majoritairement de méthane (de l'ordre de 60 à 80%) et de dioxyde de carbone (20 à 40%) ; il contient également des « éléments traces » (hydrogène sulfuré, ammoniac, etc.). Le biogaz peut être valorisé par combustion sous chaudière, cogénération, comme carburant après épuration, ou encore être injecté sur le réseau de gaz naturel après épuration.
- Le **digestat** : fraction organique résiduelle de la méthanisation. Il a une valeur fertilisante et amendante. Il peut subir une séparation de phase solide / liquide. La fraction liquide peut être utilisée en engrais, et la fraction solide en compost.

La méthanisation, en tant que technique de production d'une énergie renouvelable, bénéficie d'une obligation d'achat de l'électricité produite à partir du biogaz ainsi que du biométhane injecté sur le réseau de gaz naturel :

- Les modalités du tarif sont définies par l'arrêté du 30 octobre 2015 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations qui valorisent le biogaz.
- L'arrêté du 23 novembre 2020 fixe les conditions d'achat du biométhane injecté dans les réseaux de gaz naturel.
- L'arrêté du 27 février 2013 fixe les conditions d'achat de l'électricité et du biométhane en cas de double valorisation (installations alliant cogénération et injection).

La figure suivante met en évidence les différentes étapes de la méthanisation, de la collecte des déchets à la valorisation de l'énergie produite.

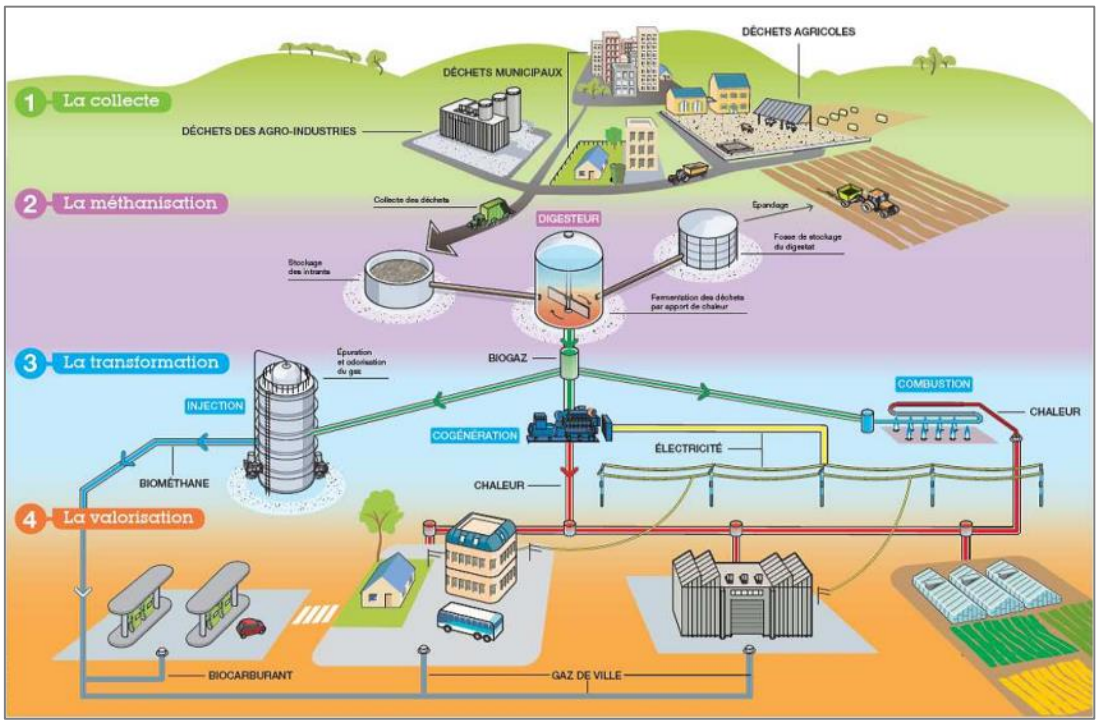


Figure 25 : Les étapes de la méthanisation (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement)

9.1.1 CONTRAINTES

Même si les gisements locaux de biomasse fermentescible étaient présents en quantité suffisante, mettre en place une installation de méthanisation afin d'alimenter le site ne serait pas pertinent, car la production de biogaz est constante sur l'année, ce qui n'est pas le cas de la demande de chaleur (sauf pour l'eau chaude sanitaire pour laquelle la demande est bien trop faible pour rentabiliser les investissements).

Par ailleurs, il ne faut ne pas oublier qu'un projet de méthanisation nécessite une surface foncière minimale de 2 000 m²[17], ainsi qu'un éloignement minimal de 50 mètres des habitations avoisinantes[18].

9.1.2 POTENTIEL

Une possibilité pour le site d'être alimenté en biomasse méthanisable serait qu'une unité de méthanisation voit le jour à proximité du site et injecte le biométhane produit sur la même maille de consommation que la ZAC, qui serait elle-même raccordée au réseau de gaz naturel.

Une autre possibilité serait d'intégrer cet approvisionnement au mix énergétique d'un réseau de chaleur desservant un large périmètre dont la ZAC.

[17] *Source : RAEE*
[18] *Arrêtés du 10/11/2009 et 12/08/2010*

10 RECAPITULATIF DES POTENTIALITES DU TERRITOIRE

Au regard des ressources et des contraintes présentes sur le territoire, les conclusions suivantes peuvent être tirées quant aux énergies pertinentes pour l'approvisionnement de la ZAC :

	Énergie considérée		Gisement intéressant	Remarques
CHALEUR	SOLAIRE THERMIQUE		**Oui**	▪ Gisement intéressant ▪ Pas de contraintes réglementaires
	BOIS ENERGIE		**Oui**	▪ Ressources et offre disponibles ▪ Réserve foncière à confirmer
	GEOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE		**Oui**	▪ Potentiel intéressant ▪ Présence d'une boucle d'eau tempérée sur le site
	HYDROTHERMIE		Non	▪ Potentiel faible sur une large partie de la ZAC ▪ Nappe présente à une profondeur trop importante
	AEROTHERMIE		**Oui**	▪ Sur air extérieur : uniquement en mi-saison avec appoint ▪ Sur air vicié : selon les besoins des bâtiments
	VALORISATION DE LA CHALEUR DES EAUX USEES	INDIVIDUEL	**Oui**	▪ Séparation des eaux vannes et des eaux grises avant le dispositif
		SUR COLLECTEURS	**Non connu**	▪ Pas de potentiel sur les collecteurs existants ▪ Caractéristiques des collecteurs à créer non connues
		SUR STEP	Non	▪ Stations d'épuration trop éloignée
		SUR POSTE DE RELEVAGE	Oui	▪ Poste du Fenouillet avec potentiel important
	CHALEUR FATALE		Non	▪ Pas d'opportunité disponible à proximité du site
	RESEAU DE CHALEUR EXISTANT		**Oui**	▪ Raccordement à la boucle d'eau tempérée existant sur le site
ÉLECTRICITE	SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE		**Oui**	▪ Gisement intéressant ▪ Pas de contraintes réglementaires
	ÉOLIEN	ÉOLIEN URBAIN	Non connu	▪ Valeur d'exemplarité uniquement
		GRAND EOLIEN	Non	▪ Proximité d'habitations
BIOGAZ	METHANISATION		Non	▪ Pas de possibilité sur le site de la ZAC

ENERGIES RENOUVELABLES ET SYSTEMES ADAPTES A L'OPERATION

1 LES DIFFERENTS SYSTEMES ADAPTES

Le graphique ci-dessous présente les possibilités de mise en place d'installations utilisant les énergies renouvelables pour les différents types de bâtiments présents sur le site.

		Hôtel / Restaurants	Commerces/Bureaux	Equipements sportifs et de loisirs	Equipements de santé / social	Solutions déportées
	Panneaux solaires thermiques	ECS		ECS (pour la salle de sport, le SPA, les vestiaires)	ECS	
	Chaudière bois	Chauffage / ECS	Chauffage	Chauffage / ECS (pour la salle de sport, le SPA, les vestiaires)	Chauffage / ECS	
	Réseau de chaleur au bois	Chauffage / ECS	Chauffage	Chauffage / ECS (pour la salle de sport, le SPA, les vestiaires)	Chauffage / ECS	
	Micro-cogénération bois	Chauffage / ECS Electricité	Chauffage Electricité	Chauffage / ECS (pour la salle de sport, le SPA, les vestiaires) Electricité	Chauffage / ECS Electricité	
	PAC sur capteurs verticaux ou pieux géothermiques	Chauffage / rafraîchissement / ECS	Chauffage / rafraîchissement	Chauffage / rafraîchissement / ECS (pour la salle de sport, le SPA, les vestiaires)	Chauffage / rafraîchissement	
	Boucle d'eau sur capteurs verticaux ou pieux géothermiques	Chauffage / rafraîchissement / ECS	Chauffage / rafraîchissement	Chauffage / rafraîchissement / ECS (pour la salle de sport, le SPA, les vestiaires)	Chauffage / rafraîchissement / ECS	
	VMC double-flux thermodynamique	Chauffage / rafraîchissement	Chauffage / rafraîchissement	Chauffage / rafraîchissement	Chauffage / rafraîchissement	
	Chauffe-eau thermodynamique sur air vicié	ECS		ECS (pour la salle de sport, le SPA, les vestiaires)	ECS	
	Récupération sur eaux usées	ECS		ECS (pour la salle de sport, le SPA, les vestiaires)	ECS	
	Réseau de chaleur existant	Cf. "boucle d'eau"				
	Panneaux solaires photovoltaïques en toiture	Electricité	Electricité	Electricité	Electricité	
	Panneaux solaires photovoltaïques sur des équipements autonomes					Electricité *(déporté)*

ECS : eau chaude sanitaire - PAC : pompe à chaleur

A noter : Certains équipements fonctionnent avec un appoint.

La plupart des solutions utilisant des énergies renouvelables pour la production d'ECS ne sont pas encore rentables pour des besoins faibles et discontinus. Lorsque les besoins sont suffisamment importants, un chauffe-eau thermodynamique ou solaire peut être envisagé.

Les solutions avec pompe à chaleur (géothermie, VMC double flux) permettent également le rafraîchissement en été. D'autre part ces systèmes utilisent de l'électricité pour fonctionner.

A noter que différentes solutions individuelles peuvent être mises en œuvre de manière concomitante sur des bâtiments ou groupes de bâtiments différents en fonction du choix du promoteur et de l'intérêt technico-économique spécifique d'une solution sur ce bâtiment.

Les solutions pour le chauffage, le rafraîchissement, l'eau chaude sanitaire et l'électricité peuvent être mises en œuvre de manière indépendante pour fournir ces différents besoins. Lorsqu'une solution peut fournir plusieurs besoins en même temps il est plus intéressant de ne pas multiplier les solutions. Par exemple une boucle d'eau géothermique associée à une thermofrigopompe pourra fournir la climatisation des bâtiments raccordés en plus du chauffage et de l'eau chaude sanitaire.

Les différentes solutions proposées sont présentées ci-dessous.

LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE COLLECTIF (CESC)

FONCTIONNEMENT

C'est à la surface du panneau que le rayonnement solaire est converti en chaleur. Un liquide caloporteur circule dans l'absorbeur et transmet sa chaleur via un échangeur à l'eau chaude sanitaire. Le circuit solaire est donc totalement indépendant du circuit consommateur.

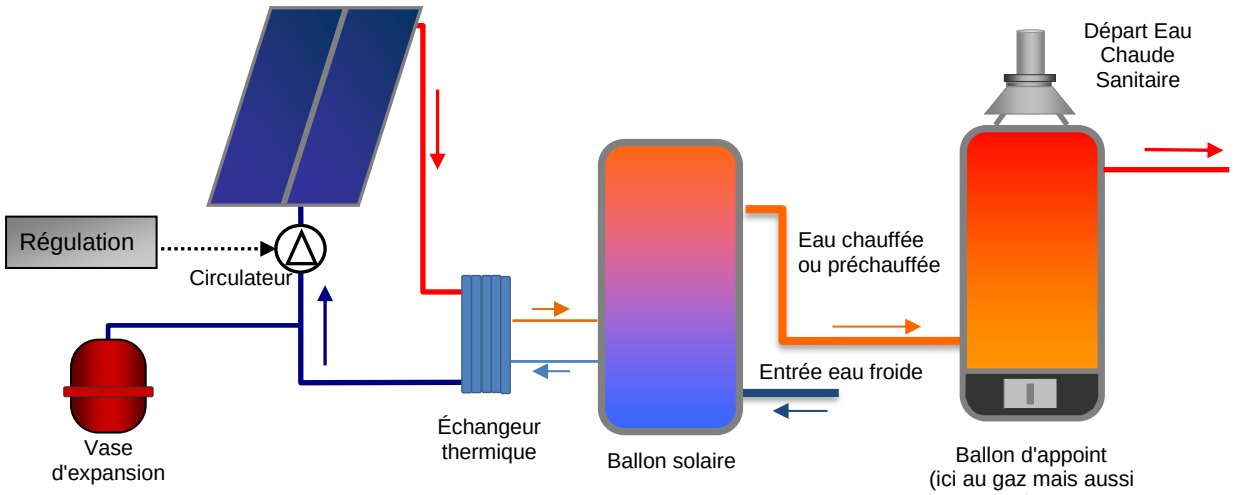
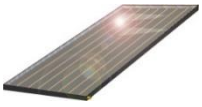


Schéma d'un Chauffe-Eau Solaire Collectif

Il est toujours nécessaire de recourir à un appoint, l'énergie solaire ne pouvant pas couvrir l'intégralité des besoins (en particulier en hiver) : un ballon de stockage solaire est généralement placé en amont d'un équipement d'appoint qui assure le maintien en température de consigne de l'eau chaude.

AVANTAGES DU SOLAIRE THERMIQUE



La production de chaleur par le biais de capteurs solaires thermiques présente les avantages suivants :

- la ressource d'énergie utilisée est renouvelable et gratuite, aucune pénurie ou fluctuation des prix n'est à craindre,
- le processus de production de chaleur n'a aucun impact sur l'environnement (pas de rejets polluants, pas de déchets, etc.),
- quelle que soit l'énergie substituée (électricité, fioul ou gaz), les rejets de gaz à effet de serre évités sont importants.

Les différentes technologies sont au point ; leurs performances sont testées par un organisme indépendant (le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). Les installateurs compétents pour de telles installations doivent avoir obtenu un agrément Qualisol, délivré par l'association Qualit'EnR.

CONDITIONS A RESPECTER

- Une consommation d'eau chaude relativement constante tout au long de l'année et effective les mois d'été (éviter ce type d'installation dans les écoles, mais les privilégier sur les maisons de retraite, les foyers, les piscines municipales, etc.).
- Une architecture étudiée en amont afin de prévoir un emplacement optimum pour l'intégration des capteurs au bâti et leur production. Idéalement, les capteurs sont orientés plein sud. Toutefois il faut tenir compte des masques environnants et de l'orientation du site. La puissance délivrée par l'installation est maximale dans le cas où le rayonnement solaire est perpendiculaire aux capteurs. Par ailleurs, il est intéressant d'incliner les capteurs en fonction de la période où l'on souhaite le plus de production. Idéalement, les capteurs solaires sont inclinés à 45° pour la production d'eau chaude sanitaire.
- L'installation de réducteur de débit sur tous les points d'eau, ce qui permet d'envisager une installation dimensionnée au plus juste et garantit des économies d'eau.

BATIMENTS CIBLES

Pour tous les types de bâtiments, plus la **consommation d'eau chaude du bâtiment est régulière sur l'année**, plus l'installation de capteurs solaires thermiques sera une opération rentable. En particulier, il faut éviter une baisse trop importante de la demande en été.

L'hôtel, le SPA, les restaurants ainsi que les équipements sportifs avec des besoins d'eau chaude sanitaires se prêteraient bien à ce type d'énergie.

DIMENSIONNEMENT

Le productible d'une installation solaire thermique est illustré dans le cadre d'une installation collective.

Caractéristiques de l'installation (simulation SOLO 2000) :

- Consommation de 2 000 litres par jour. Ces besoins correspondent à ceux d'un immeuble de 20 logements, soit 45 personnes environ.
- Ballon de stockage de 2 500 litres,
- 31 m² de capteurs,
- Orientation Sud et inclinaison à 45°.

Avec les hypothèses mentionnées ci-dessus, l'installation produira 18 350 kWh/an soit 60 % des besoins en eau chaude sanitaire du bâtiment considéré. La productivité des capteurs est de 588 kWh/m².

ÉLEMENTS ECONOMIQUES

En première approximation, les hypothèses suivantes peuvent être prises :

- Investissement pour un chauffe-eau solaire collectif :
  - Pour une surface de capteurs inférieure à 50 m² : 1 200 € HT par m² de capteurs,
  - Pour une surface de capteurs inférieure à 100 m² : 1 000 à 1 100 € HT par m² de capteurs,
  - Pour une surface de capteurs supérieure à 100 m² : 800 à 1 000 € HT par m² de capteurs,
- Exploitation (ordres de grandeur) :
  - 100 € HT par an pour des installations de moins de 10 m²,
  - 165 € HT par an pour des installations de moins de 100 m²,
  - De 300 à 500 € HT par an pour des installations supérieures à 100m².
- Économies générées : réduction de la consommation d'eau chaude de 55% à 60%. Les économies dépendent de l'énergie utilisée auparavant ou substituée.

LA CHAUFFERIE BOIS COLLECTIVE

FONCTIONNEMENT

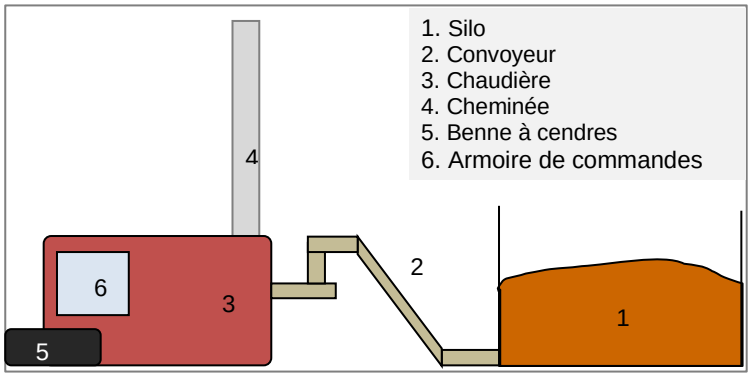
Les **combustibles** utilisés sont les sous-produits forestiers (branchages, petits bois, etc.) et industriels (écorces, sciures, copeaux, etc.) qui sont valorisés sous différentes formes :

Les **granulés de bois** sont produits par compression et agglomération de sciure (pas d'agent de liaison). Ce sont de petits cylindres de 6 à 10 mm de diamètre et de 2 cm de long. Ils sont utilisés dans les **poêles** et les **chaudières à alimentation automatique de petite puissance**. Leur coût est plus élevé que celui des autres combustibles bois mais leur pouvoir calorifique est meilleur du fait de leur grande densité et de leur hygrométrie plus faible.

Les **plaquettes** (ou bois déchiqueté) sont obtenues par déchiquetage d'arbres, de branches, de sous-produits de l'industrie du bois, etc. Elles sont utilisées dans les **chaudières automatiques**.

Remarque : Le pouvoir calorifique des combustibles bois dépend en grande partie de leur humidité. C'est pourquoi il est nécessaire de sécher le bois avant de le transformer et de le brûler.

Les combustibles bois sont amenés dans un **silo de stockage** attenant à la chaufferie et d'où ils sont envoyés automatiquement à la chaudière en fonction des besoins. Le schéma ci-dessous présente le fonctionnement général de la chaufferie bois :



La technologie de la chaudière évolue au fur et à mesure que sa puissance augmente, de même que le système de transfert du combustible du silo vers la chaudière : de la vis sans fin pour les toutes petites chaudières, à l'extracteur à échelles et enfin au grappin.

AVANTAGES DU BOIS ENERGIE

Le bois énergie bénéficie d'atouts indéniables, qui appuient son développement et une meilleure utilisation de cette ressource :

- Des ressources locales et une filière d'approvisionnement bien structurée : l'énergie utilisée est renouvelable, aucune pénurie n'est à craindre tant que l'exploitation forestière est réalisée de manière durable. C'est pourquoi les prix sont moins sujets à des fluctuations.
- Un bilan neutre vis-à-vis des gaz à effet de serre : conventionnellement, l'utilisation de la biomasse est considérée comme neutre du point de vue des émissions de dioxyde de carbone (CO_2) puisque sa combustion émet autant de CO_2 qu'elle n'en a absorbé au cours de sa croissance. À ce titre, le développement de son utilisation, en substitution aux énergies traditionnelles, constitue l'un des leviers privilégiés de la lutte contre le changement climatique.
- Le contexte haussier du prix des énergies traditionnelles : alors que les énergies fossiles ont longtemps été les énergies les moins chères, la récente envolée des prix du pétrole rend compétitive la valorisation des ressources locales comme la biomasse.

- Les progrès techniques et la diffusion massive des matériels a permis une baisse des coûts d'investissement, la maturité technique des offres bois-énergie n'est aujourd'hui plus à démontrer.

CONDITIONS A RESPECTER

- Veiller à la qualité du combustible utilisé dans la chaudière : plus la puissance de cette dernière est faible, plus les caractéristiques du combustible ont un impact important sur son fonctionnement (mauvaise combustion, rejet de polluants atmosphériques, détérioration des équipements, etc.). Il faut établir un contrat de fourniture précisant les caractéristiques requises ainsi que les pénalités en cas de non-respect du cahier des charges.
- Faire dimensionner par des professionnels expérimentés les différents éléments constitutifs de l'installation afin d'éviter de mauvaises conceptions : accessibilité du silo par les véhicules de livraison, surdimensionnement de la chaudière bois, etc.
- Bien entretenir et régler les équipements.
- Vérifier que les chaudières respectent les normes de rejets auxquelles elles sont soumises et qui garantissent des rejets atmosphériques acceptables. Plus la chaudière est de taille importante, plus la réglementation lui impose des seuils de rejets faibles.

DIMENSIONNEMENT

Une attention toute particulière sera portée au dimensionnement de la chaudière. En particulier, on veillera à **ne pas la surdimensionner**, pour des raisons techniques et économiques :

- Ses performances se dégradent lorsqu'elle fonctionne à bas régime, ce qui engendre des difficultés d'exploitation à la mi-saison pour une chaudière surdimensionnée ;
- L'investissement de la chaudière bois est la part la plus importante dans le coût de revient de la chaleur produite. Une chaudière surdimensionnée engendre un investissement important, et diminue la rentabilité économique du projet.

La taille du silo de stockage est calculée en fonction de l'autonomie souhaitée (une semaine par grand froid pour les petites chaudières) de la chaudière ou suivant la taille des véhicules de livraison.

BATIMENTS CIBLES

Les bâtiments opportuns pour une chaudière bois énergie présentent préférentiellement les caractéristiques suivantes :

- Un espace disponible pour l'installation de la chaudière et du silo de stockage : local technique, réserve foncière disponible autour du bâtiment.
- Un accès pour le passage des camions et l'approvisionnement en combustible (prévoir une aire de retournement pour les véhicules de livraison suivant la configuration du site).

ÉLEMENTS ECONOMIQUES

Pour une chaudière de 100 à 300 kW, **l'investissement global** se situe entre 1 000 et 2 000 € HT/kW. Lorsque la puissance est comprise entre 300 et 1 200 kW, l'investissement global se situe plutôt entre 750 et 1 500 € HT/kW. Les fourchettes de prix sont très importantes et varient en fonction du type de projet, de la nature du maître d'ouvrage, des aménagements de génie civil à effectuer, de la reprise d'éléments existants, etc.

L'**exploitation** de la chaufferie jusqu'à 500 kW environ nécessite le passage d'un technicien une ou plusieurs fois par semaine (en moyenne 1 à 5 heures par semaine) pour vérifier le bon état de marche, gérer la livraison de combustibles, effectuer le petit entretien et le décendrage. En comptant l'ensemble de ces tâches plus les autre coûts (ramonage, petit et gros entretien), le coût d'exploitation annuel est d'environ 2 000 – 3 000 €/an.

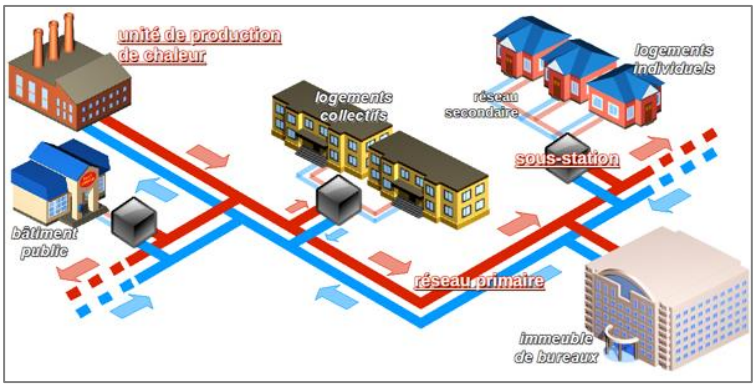
LE RÉSEAU DE CHALEUR AU BOIS

FONCTIONNEMENT

Les **combustibles** utilisés sont les sous-produits forestiers (branchages, petits bois, etc.) et industriels (écorces, sciures, copeaux, etc.) qui sont valorisés sous différentes formes. Pour un réseau de chaleur, étant donnée la puissance de la chaudière bois, on utilise des plaquettes. Les **plaquettes** (ou bois déchiqueté) sont obtenues par déchiquetage d'arbres, de branches, de sous-produits de l'industrie du bois, etc.

Remarque : Le pouvoir calorifique des combustibles bois dépend en grande partie de leur humidité. C'est pourquoi il est nécessaire de sécher le bois avant de le transformer et de le brûler.

Les combustibles bois sont amenés dans un **silo de stockage** attenant à la chaufferie et d'où ils sont envoyés automatiquement à la chaudière bois en fonction des besoins.



Le réseau de chaleur permet de distribuer la chaleur produite par une même chaudière à plusieurs bâtiments. Ces réseaux peuvent être de tailles différentes : de plusieurs milliers de logements desservis et plusieurs dizaines de kilomètres de réseaux à trois ou quatre bâtiments desservis pour quelques dizaines de mètres de réseau.

Le réseau de distribution, ou réseau de chaleur, est un circuit fermé constitué par des tuyaux enterrés isolés, transportant un fluide caloporteur (eau le plus souvent). Il part de la chaudière et dessert les bâtiments raccordés, transmet la chaleur puis revient à la chaudière en retournant le fluide refroidi. La sous-station permet l'échange de chaleur entre le circuit primaire (réseau principal) et le circuit secondaire (installation de chauffage interne au bâtiment) via un échangeur de chaleur. Une sous-station est à prévoir pour chaque bâtiment raccordé. Lorsque le réseau de chaleur dessert d'autres bâtiments que ceux appartenant au maître d'ouvrage, il faut distinguer la partie primaire du réseau (chaufferie, réseau et sous-station) de la partie secondaire (chauffage des bâtiments après les sous-stations, à l'intérieur des bâtiments). Le maître d'ouvrage est responsable a minima de la partie primaire.

AVANTAGES DU BOIS ENERGIE

Le bois énergie bénéficie d'atouts indéniables, qui appuient son développement et une meilleure utilisation de cette ressource :

- Des ressources locales et une filière d'approvisionnement bien structurée : l'énergie utilisée est renouvelable, aucune pénurie n'est à craindre tant que l'exploitation forestière est réalisée de manière durable. C'est pourquoi les prix sont moins sujets à des fluctuations.
- Un bilan neutre vis-à-vis des gaz à effet de serre : conventionnellement, l'utilisation de la biomasse est considérée comme neutre du point de vue des émissions de dioxyde de carbone (CO_2) puisque sa combustion émet autant de CO_2 qu'elle n'en a absorbé au cours de sa croissance. À ce titre, le développement de son utilisation, en substitution aux énergies traditionnelles, constitue l'un des leviers privilégiés de la lutte contre le changement climatique.
- Le contexte haussier du prix des énergies traditionnelles : alors que les énergies fossiles ont longtemps été les énergies les moins chères, la récente envolée des prix du pétrole rend compétitive, dans une perspective de long terme, la valorisation des ressources locales comme la biomasse.
- Les progrès techniques et la diffusion massive des matériels a permis une baisse des coûts d'investissement, la maturité technique des offres bois-énergie n'est aujourd'hui plus à démontrer.

Par ailleurs, la gestion d'un combustible solide comme le bois étant plus compliquée que celle d'un combustible gazeux ou liquide, sa mutualisation en réseau de chaleur est un avantage. De plus, cela permet

à un plus grand nombre de consommateurs de bénéficier d'une chaleur propre, renouvelable et produite à partir de ressources locales, à un coût économique intéressant et moins volatile que les énergies fossiles.

CONDITIONS A RESPECTER

- S'assurer que le réseau de chaleur est pertinent sur le plan énergétique et économique : rechercher des bâtiments consommateurs et rapprochés de manière à avoir une densité énergétique[19] importante. Une forte densité énergétique garantit une meilleure rentabilité puisque l'investissement consenti pour le réseau est plus facilement amorti (plus d'énergie livrée).
- Veiller à la qualité du combustible utilisé dans la chaudière : plus la puissance de cette dernière est faible, plus les caractéristiques du combustible ont un impact important sur son fonctionnement (mauvaise combustion, rejet de polluants atmosphériques, détérioration des équipements, etc.). Il faut établir un contrat de fourniture précisant les caractéristiques requises ainsi que les pénalités en cas de non-respect du cahier des charges.
- Faire dimensionner par des professionnels expérimentés les différents éléments constitutifs de l'installation afin d'éviter de mauvaises conceptions : accessibilité du silo par les véhicules de livraison, surdimensionnement de la chaudière bois, etc.
- Bien entretenir et régler les équipements.
- Vérifier que les chaudières respectent les normes de rejets auxquelles elles sont soumises et qui garantissent des rejets atmosphériques acceptables. Plus la chaudière est de taille importante, plus la réglementation lui impose des seuils de rejets faibles.

GISEMENT

Au vu des ressources et de l'offre locale, il serait tout à fait possible de couvrir les besoins de chaleur de la ZAC par un réseau de chaleur au bois énergie.

CONTRAINTES

La mise en place d'un réseau de chaleur présente quelques contraintes :

- La chaufferie centrale et le silo de stockage doivent être intégrés au site.
- Un accès pour le passage des camions et l'approvisionnement en combustible doit être prévu (prévoir une aire de retournement pour les véhicules de livraison suivant la configuration du site).
- La conception, la réalisation, la gestion et l'exploitation sont plus complexes que dans le cas de solutions individuelles.

Penser le montage juridique dès le début du projet car il appelle une gestion plus complexe et une organisation spécifique. Il faut qu'un acteur se montre intéressé pour porter un tel projet ; le maître d'ouvrage doit ensuite contractualiser avec différents acteurs pour la mise en place des installations puis leur exploitation. Plusieurs montages juridiques sont possibles.

DIMENSIONNEMENT

Une attention toute particulière sera portée au dimensionnement de la chaudière. En particulier, on veillera à **ne pas la surdimensionner**, pour des raisons techniques et économiques :

- Ses performances se dégradent lorsqu'elle fonctionne à bas régime, ce qui engendre des difficultés d'exploitation à la mi-saison pour une chaudière surdimensionnée ;
- L'investissement de la chaudière bois est la part la plus importante dans le coût de revient de la chaleur produite. Une chaudière surdimensionnée engendre un investissement important, et diminue la rentabilité économique du projet.

Pour les mêmes raisons, une chaudière d'appoint est nécessaire ; il peut s'agir d'un simple appoint pour les périodes de grand froid et/ou d'une production de l'eau chaude sanitaire en été. Il est également possible de dimensionner la chaudière d'appoint de façon à ce qu'elle soit en capacité de couvrir l'intégralité des besoins le jour le plus froid (en cas de panne de la chaudière bois par exemple) ; on parle alors d'appoint/secours.

La taille du silo de stockage est calculée en fonction de l'autonomie souhaitée (quelques jours pour les réseaux de chaleur importants) de la chaudière ou suivant la taille des véhicules de livraison.

[19] *Rapport entre la quantité d'énergie livrée par le réseau et sa longueur*

Le tracé du réseau de chaleur doit être optimisé de manière à être le plus court possible et de réduire les investissements. Chaque tronçon doit être accessible de manière à pouvoir effectuer des opérations de maintenance éventuellement nécessaires.

ÉLEMENTS ECONOMIQUES

L'investissement pour l'ensemble du projet varie de manière très importante en fonction du type de projet, des aménagements de génie civil à effectuer, de la reprise d'éléments existants, etc. Des ordres de grandeur sont donnés ci-dessous en fonction de la puissance de la chaudière bois :

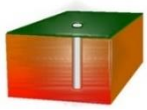
- 100 – 300 kW : 1 500 à 2 300 € HT/kW,
- 300 – 1 200 kW : 1 300 à 1 900 € HT/kW,
- > 1 200 kW : 900 à 1 500 € HT/kW.

L'exploitation comprend la gestion du bon état de marche de l'installation et des sous-stations, et la gestion des livraisons de combustibles.

LA POMPE À CHALEUR (PAC) GÉOTHERMIQUE SUR SONDES

FONCTIONNEMENT

La géothermie consiste à utiliser les calories du sous-sol pour chauffer ou rafraîchir les bâtiments. On parle de sondes ou de capteurs verticaux, dans lesquels circule un fluide en circuit fermé.



En surface

La pompe à chaleur est constituée d'un circuit fermé dans lequel circule un fluide calorifique. Le circuit est composé de quatre éléments :

- un évaporateur : le fluide frigorigène capte la chaleur de la zone extérieure et s'évapore,
- un compresseur : la vapeur du fluide frigorigène est compressée, ce qui augmente sa température,
- un condenseur : le fluide frigorigène se condense et cède sa chaleur au milieu à réchauffer,
- un détendeur : le fluide est ramené à la pression d'entrée dans l'évaporateur.

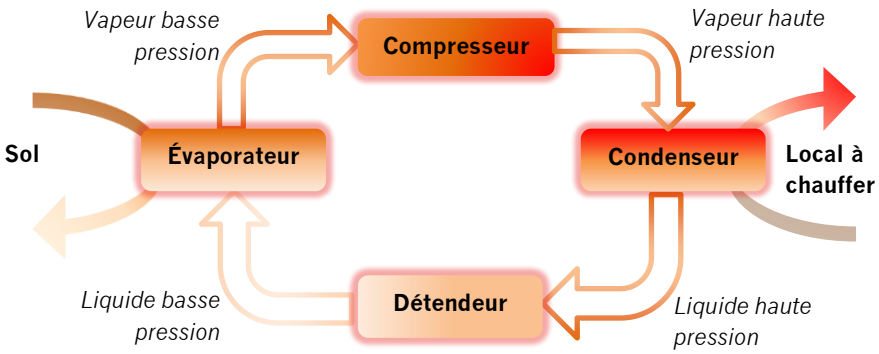


Schéma de principe d'une pompe à chaleur

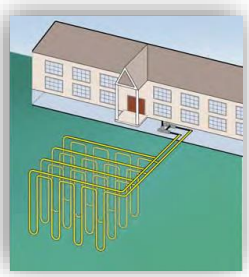
La performance d'une pompe à chaleur est mesurée par son **COefficient de Performance (COP)** : c'est le rapport entre l'énergie produite par la pompe à chaleur et l'énergie qui lui a été fournie en entrée ; et varie entre 3 et 5. Plus le COP est élevé, meilleures sont les performances de la pompe à chaleur ; et plus les économies sont importantes pour l'utilisateur.

La pompe à chaleur est plus performante quand la différence de température entre la source où est puisée la chaleur et le bâtiment est faible. Pour cette raison, on utilisera des **émetteurs « basse température » : à eau, via des radiateurs ou un plancher chauffant**.

Une seconde pompe à chaleur pourra permettre de produire l'ECS à une température plus élevée. Celle-ci présentera par conséquent un COP plus faible de l'ordre de 3.

On pourra également prévoir un by-pass sur la pompe à chaleur de chauffage afin de fournir du rafraichissement en été via la circulation d'eau à la température du sol à travers un plancher

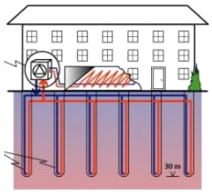
chauffant/rafraichissant (c'est le free-cooling). Cette solution permet de rafraichir les bâtiments n'ayant pas de réel besoin de froid comme les logements. Pour la climatisation, on aura recours à une pompe à chaleur réversible capable de fournir du froid en été.



Les capteurs verticaux sont constitués de deux tubes en forme de U installés dans un forage (jusqu'à 200 mètres de profondeur). De l'eau additionnée de liquide antigel circule dans les tubes.

En fonction de l'importance des besoins thermiques à satisfaire, plusieurs sondes peuvent être installées sur un même site, constituant un **champ de sondes géothermiques.**

Champ de sondes géothermiques (BRGM)



Lorsque la valeur de portance d'un sol est faible et que l'utilisation de pieux de fondation en béton est nécessaire, ces pieux peuvent être équipés de capteurs géothermiques (tubes de polyéthylène noyés dans le béton). On parle de géostructure ou de fondations thermoactives.

Géostructure énergétique (géothermie.ch)

AVANTAGES DE LA GEOTHERMIE

- Les pompes à chaleur géothermiques ont un très bon rendement énergétique (de 3 à 5 kWh thermiques fournis pour 1 kWh électrique consommé).
- La géothermie est une énergie locale qui ne dépend pas des conditions atmosphériques, donc son potentiel ne fluctue pas : c'est une énergie fiable et constante.
- La géothermie permet d'envisager le refroidissement des locaux en été, c'est une des rares technologies respectueuses de l'environnement pour ce type d'application.

CONDITIONS A RESPECTER

- Vérifier préalablement à tous travaux si le site se prête à ce type d'installation (caractéristiques géotechniques du sol, accès pour un engin de forage, etc.).
- Vérifier l'interférence avec d'éventuelles autres installations situées à proximité.
- Transmettre les informations concernant l'installation au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) qui réalise un suivi des installations existantes.
- Installer une pompe à chaleur capable de démarrer à vide ou équipée d'un démarrage progressif pour limiter l'appel de puissance.
- Choisir une pompe à chaleur dont le coefficient de performance (COP) est élevé : pour cela, se rapprocher de l'ADEME qui donnera le COP minimal pour bénéficier des aides disponibles.
- Faire installer la pompe à chaleur par un installateur QualiPAC ; faire réaliser les forages par un installateur Qualiforage. Ces agréments sont délivrés par l'association Qualit'EnR, qui promeut la qualité des prestations des professionnels installateurs.
- L'émission de chaleur se fera préférentiellement via des émetteurs basse température afin d'améliorer les performances de la pompe à chaleur.

GISEMENT

Le bâtiment « Le Liner », déjà présent sur le site et d'une surface de 10 900m², est alimenté par de la géothermie sur sondes depuis 2014. Le bon fonctionnement de cette installation permet de supposer que la conductivité thermique des terrains sera intéressante sur l'ensemble du site, permettant de valoriser la chaleur du sous-sol via des sondes.

CONTRAINTES éligible à la géothermie de

La totalité de la ZAC est minime importance sur capteurs verticaux.

DIMENSIONNEMENT

Une sonde 100 mètres de profondeur fournit une puissance thermique d'environ 5 kW. En considérant que la pompe à chaleur associée au forage a un COP de 4, la puissance thermique fournie au bâtiment 7 kW

par sonde. Plusieurs sondes peuvent être installées pour un même bâtiment ; elles doivent alors être espacées d'au moins 10 mètres et peuvent atteindre 200 m de profondeur.

ÉLEMENTS ECONOMIQUES

L'investissement pour une pompe à chaleur s'élève à 300 €/kW environ. Pour le forage de capteurs verticaux, l'investissement s'élève à 50 à 90 € par mètre foré. Ces valeurs sont cependant très variables en fonction des caractéristiques des sols.

LA BOUCLE D'EAU TEMPEREE GÉOTHERMIQUE SUR SONDES

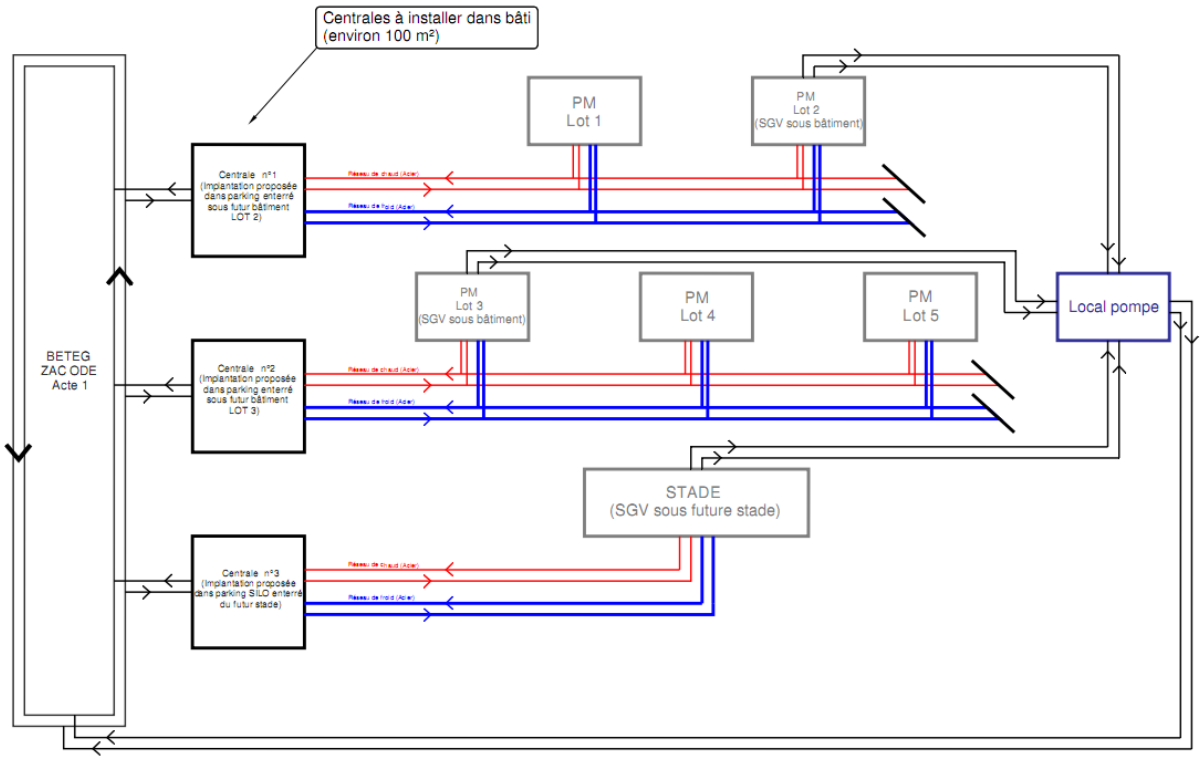
FONCTIONNEMENT

L'eau circule dans un réseau de distribution desservant plusieurs bâtiments : on parle de boucle d'eau.

Remarque : L'eau circulant dans le réseau étant à une température de l'ordre de 15°C à 30°C, non encore réchauffée, il ne s'agit pas à proprement parler d'un réseau de chaleur.

Chaque bâtiment est équipé d'une pompe à chaleur qui relève la température de l'eau de la nappe afin de couvrir les besoins en chauffage. Si la pompe à chaleur est réversible, elle peut fonctionner en été pour rafraîchir le bâtiment (elle abaisse alors la température de la nappe). On peut également faire circuler l'eau de la boucle dans les émetteurs des bâtiments pour les rafraîchir en été sans utiliser la pompe à chaleur (free-cooling). Si une pompe à chaleur haute température est installée, il est possible de réaliser de la production d'eau chaude sanitaire également (pour les bâtiments ayant des besoins suffisants).

Installer une thermo-frigo-pompe à la place d'une pompe à chaleur permet de couvrir les besoins simultanés de chaud et de froid.



Principe de fonctionnement de la boucle d'eau (cabinet MERLIN

Remarque : Il est possible de placer une pompe à chaleur centrale en sortie de sondes et de distribuer l'eau chaude comme dans un réseau de chaleur classique – solution moins onéreuse – mais on perd alors l'avantage de la multiplicité des usages : dans le cas de la boucle d'eau, un bâtiment peut se chauffer pendant qu'un autre se chauffe et produit son eau chaude sanitaire et qu'un troisième se rafraîchit. D'autre

part, les pertes de chaleur sur le réseau de chaleur sont plus importantes que pour une boucle d'eau puisque la température de l'eau qui y circule est plus élevée.

AVANTAGES

- Multiplicité des usages : possibilité pour les différents bâtiments raccordés de se chauffer, de se refroidir et de produire leur eau chaude sanitaire. Un bâtiment peut simultanément produire son eau chaude sanitaire et se chauffer ou se refroidir. Un bâtiment peut se chauffer pendant que le bâtiment d'à côté se refroidit.
- Le free-cooling sans utiliser la pompe à chaleur peut fournir une solution de rafraîchissement quasiment gratuite (seules les pompes de circulation fonctionnent).
- La température du sous-sol ne dépend que peu des conditions atmosphériques, donc son potentiel fluctue peu : c'est une énergie fiable et constante qui permet aux pompes à chaleur d'avoir un très bon rendement énergétique (de 3 à 5 kWh d'énergie thermique produite pour 1 kWh d'énergie électrique consommée).
- Pertes de chaleur sur la boucle d'eau moins importantes qu'avec un réseau de chaleur.

CONDITIONS A RESPECTER

- Vérifier les capacités des sondes au regard des besoins en énergie (production de chaleur et production de froid) par un test de réponse thermique.
- Vérifier préalablement à tous travaux si le site se prête à ce type d'installation (caractéristiques géotechniques du sol, accès pour un engin de forage, etc.).
- Vérifier l'interférence avec d'éventuelles autres installations situées à proximité.
- Transmettre les informations concernant l'installation au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) qui réalise un suivi des installations existantes.
- Installer des pompes à chaleur capables de démarrer à vide ou équipées d'un démarrage progressif pour limiter l'appel de puissance.
- Choisir une pompe à chaleur dont le coefficient de performance (COP) est élevé : pour cela, se rapprocher de l'ADEME qui donne le COP minimal pour bénéficier des aides disponibles.
- Faire installer les pompes à chaleur pour des installateurs agréés QualiPAC ; faire réaliser les forages par une entreprise agréée Qualiforage. Ces agréments sont délivrés par l'association Qualit'EnR qui promeut la qualité des prestations des professionnels des énergies renouvelables.
- Privilégier des émetteurs de chaleur fonctionnant à basse température (planchant chauffant / rafraîchissant, radiateurs basse température, etc.) afin d'améliorer les performances des pompes à chaleur.

DIMENSIONNEMENT

- Une sonde 100 mètres de profondeur fournit une puissance thermique d'environ 5 kW. En considérant que la pompe à chaleur associée au forage a un COP de 4, la puissance thermique fournie au bâtiment 7 kW par sonde.
- Plusieurs sondes peuvent être installées pour un même bâtiment ; elles doivent alors être espacées d'au moins 10 mètres et peuvent atteindre 200 m de profondeur.

BATIMENTS CIBLES

Ce type d'installation est particulièrement intéressant dans le cas de raccordement de bâtiments ayant des besoins de chaud et de froid.

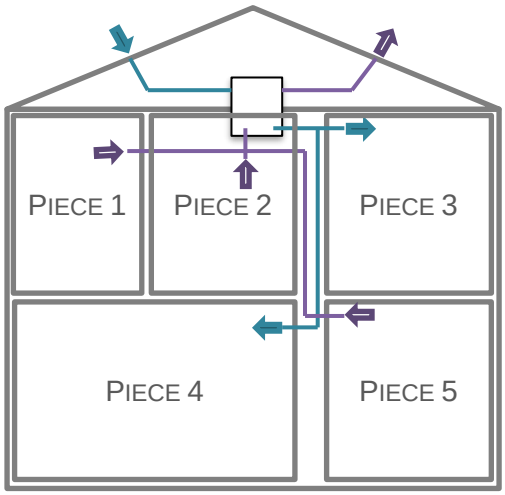
ÉLEMENTS ECONOMIQUES

- L'investissement pour une pompe à chaleur s'élève à 300 €/kW environ.
- Pour le forage de capteurs verticaux, l'investissement s'élève à 50 à 90 € par mètre foré. Ces valeurs sont cependant très variables en fonction des caractéristiques des sols. Utiliser les fondations construites pour les bâtiments permet de mutualiser les coûts.

LA VMC THERMODYNAMIQUE

FONCTIONNEMENT

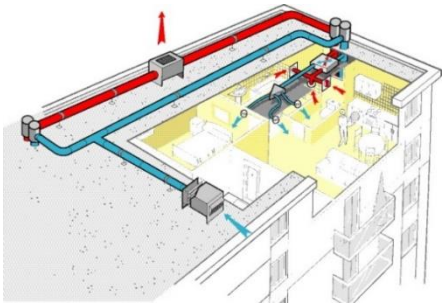
La VMC (Ventilation Mécanique Contrôlée) thermodynamique (ou pompe à chaleur sur air vicié) consiste en une pompe à chaleur air/air installée en sortie d'une VMC double-flux.



Schémas de fonctionnement d'une pompe à chaleur sur air vicié

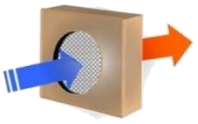
Une VMC double flux permet de limiter les pertes de chaleur inhérentes à la ventilation en récupérant la chaleur de l'air vicié extrait du bâtiment et en l'utilisant pour réchauffer l'air neuf filtré venant de l'extérieur.

L'air vicié chaud est extrait des sanitaires et des autres pièces via des bouches d'extraction ; il traverse la VMC double flux et préchauffe ainsi l'air entrant. Un ventilateur pulse l'air neuf préchauffé dans la pompe à chaleur. L'air entrant atteint enfin la température de consigne (généralement 19°C) en traversant la PAC, et circule à travers les conduits de ventilation.



La régulation du système de chauffage se fait via des « modules de chauffage » situés dans les canalisations : des résistances électriques, de 300 à 700 W en moyenne, assurent en appoint la température de consigne souhaitée dans chacune des pièces. Ces modules complémentaires de chauffage sont utilisés de manière très ponctuelle : par période de grands froids et en régulation si une pièce est réglée sur une température supérieure aux autres.

AVANTAGES



- La chaleur contenue dans l'air vicié n'est plus gaspillée mais récupérée.
- L'émission de chaleur se fait via la ventilation : le bâtiment se trouve débarrassé de tout émetteur de chaleur. La pompe à chaleur est réversible ce qui permet éventuellement de rafraichir le bâtiment.
- Dans une VMC thermodynamique, l'air à l'entrée de la PAC est préchauffé et la pompe à chaleur fonctionne en permanence dans des plages de température optimales (en effet, plus l'écart de température entre l'air entrant et l'air sortant est faible, meilleures sont les performances de la PAC).

CONDITIONS A RESPECTER

- Installer une pompe à chaleur capable de démarrer à vide ou équipée d'un démarrage progressif pour limiter l'appel de puissance.
- Choisir une pompe à chaleur dont le coefficient de performance (COP) est élevé : pour cela, se rapprocher de l'ADEME qui donnera le COP minimal pour bénéficier des aides disponibles.
- Faire installer la pompe à chaleur par un installateur QualiPAC. Cet agrément est délivré par l'association Qualit'EnR.

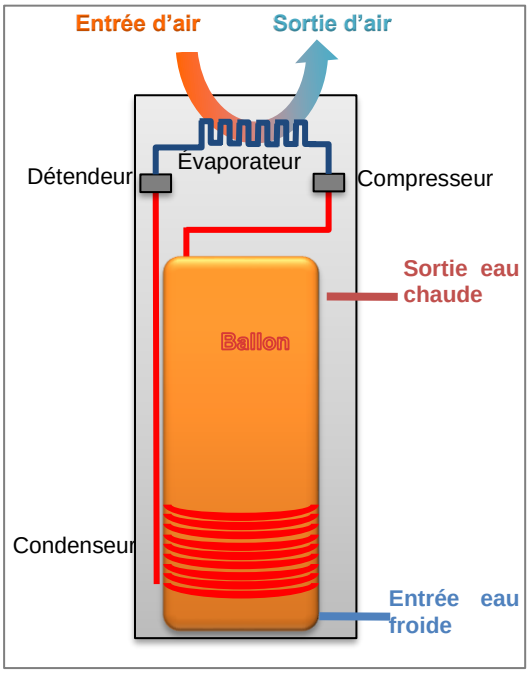
Éléments économiques

L'investissement pour une VMC thermodynamique dont la puissance du compresseur est de 1,3 kW est de 17 000 €HT environ. La maintenance consiste à réaliser des opérations de contrôle, à nettoyer ou remplacer les filtres, nettoyer l'évaporateur. Ces opérations coûtent 200 à 300 € HT par an.

LE CHAUFFE-EAU THERMODYNAMIQUE (CET)

FONCTIONNEMENT

Le chauffe-eau thermodynamique est un ensemble monobloc constitué d'un ballon d'eau chaude et d'une pompe à chaleur située en partie haute du ballon.



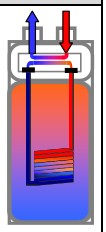
La pompe à chaleur est constituée d'un circuit fermé dans lequel circule un fluide, appelé « fluide frigorigène ». Le circuit est composé de quatre éléments :

- un évaporateur : le fluide frigorigène capte la chaleur de l'air du local et s'évapore,
- un compresseur : la vapeur du fluide frigorigène est compressée, ce qui augmente sa température,
- un condenseur : le fluide frigorigène se condense en liquide et cède sa chaleur, via un échangeur, au ballon d'eau chaude,
- un détendeur : le fluide est ramené à la pression d'entrée dans l'évaporateur.

La performance d'un chauffe-eau thermodynamique est mesurée par son COefficient de Performance (COP) : c'est le rapport entre l'énergie produite par la pompe à chaleur et l'énergie qui lui a été fournie en entrée. Le COP varie entre 3 et 4 selon les données des constructeurs ; il sera en réalité moins élevé.

Certains modèles sont équipés d'un échangeur de chaleur supplémentaire, permettant le raccordement à une autre source de production – une installation solaire thermique par exemple.

AVANTAGES



- La chaleur contenue dans l'air vicié n'est plus gaspillée mais récupérée.
- La pompe à chaleur récupère l'énergie contenue dans une pièce technique par exemple, et la transmet à l'eau chaude sanitaire. Plus la différence entre la température de consigne – 55°C pour la production d'eau chaude sanitaire – et la température de l'air à l'entrée de la PAC est faible, plus son COP est élevé. L'air entrant dans la pompe à chaleur étant à la température du bâtiment, la pompe à chaleur fonctionne en permanence dans des plages de température adéquate.

Conditions à respecter

- Disposer d'un local technique pouvant accueillir le chauffe-eau thermodynamique. Les canalisations d'eau chaude sont situées à proximité de cette pièce. La pièce dans laquelle sera installé le chauffe-eau thermodynamique doit être suffisamment grande et aérée pour que la température de l'air entrant ne soit pas dépendante du débit d'air entrant. On éloignera ce système légèrement bruyant des pièces occupées en permanence.
- Installer une pompe à chaleur capable de démarrer à vide ou équipée d'un démarrage progressif pour limiter l'appel de puissance.

Éléments économiques

L'investissement pour un ballon thermodynamique de 300 L est de 2 500 € HT environ. La maintenance consiste à nettoyer ou remplacer les filtres encastrés, vérifier la bonne évacuation des condensats, nettoyer l'évaporateur. Ces opérations coûtent 50 à 100 € HT par an.

LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR EAUX USÉES

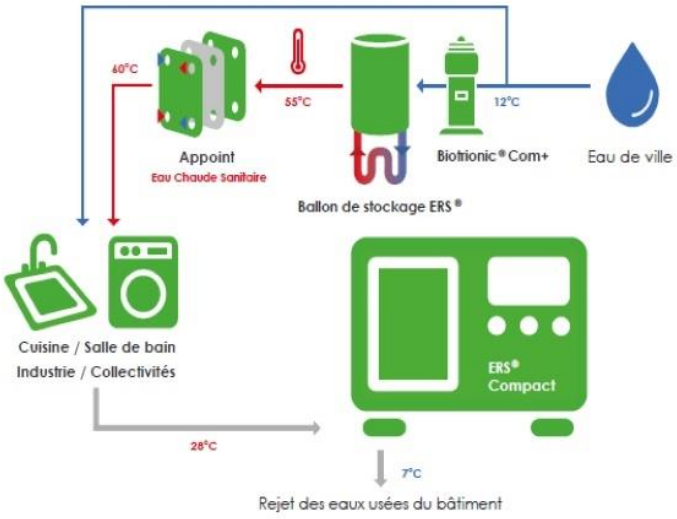
FONCTIONNEMENT

AU NIVEAU DU BATIMENT

Les eaux usées des cuisines, lave-linge et lave-vaisselle sont acheminées à une température moyenne de 28°C vers un échangeur de chaleur, avant qu'elles n'atteignent le collecteur d'eaux usées.

Les calories des eaux usées sont transmises au circuit secondaire via l'échangeur. L'eau ainsi préchauffée peut être directement introduite dans un ballon d'eau chaude qui portera sa température à 55°C grâce à l'énergie souhaitée (solaire, bois, électricité, gaz), tel que proposé par exemple par le système Thermocycle[20].

Elle peut également être acheminée vers une pompe à chaleur. Ce système est proposé par exemple par Biofluides Environnement, PME française. Le système est présenté ci-contre.



Fonctionnement de l'ERS (Biofluides Environnement)

AVANTAGES

- La chaleur contenue dans les eaux usées n'est plus gaspillée mais récupérée.
- L'énergie utilisée ne dépend pas des conditions atmosphériques, donc son potentiel ne fluctue pas : c'est une énergie fiable et constante.

CONDITIONS A RESPECTER

- **AU NIVEAU DU BATIMENT** : Les eaux grises (issues des cuisines, des lavabos, des machines à laver, etc.) doivent être séparées des eaux vannes (issues des WC). Seules les eaux grises peuvent être utilisées pour la récupération de chaleur.

DIMENSIONNEMENT

- **AU NIVEAU DU BATIMENT** : Une réduction de 40% à 60% de la consommation énergétique due à la production d'eau chaude sanitaire est envisageable. Ce type d'installation peut être couplé à une installation solaire thermique, pouvant alors couvrir jusqu'à 80% de la demande en ECS.

BATIMENTS CIBLES

Installer un système de récupération de chaleur sur les eaux usées au niveau du bâtiment est intéressant pour les bâtiments ayant de forts besoins en eau chaude sanitaire, tels que l'hôtel ainsi que les vestiaires ou encore le SPA.
Plus les besoins en eau chaude sanitaire sont réguliers sur l'année, plus l'installation sera une opération rentable.

ÉLEMENTS ECONOMIQUES

- **AU NIVEAU DU BATIMENT** : L'investissement moyen par logement est de 1 800 € hors subventions sur la base de 50 logements. Le retour sur investissement serait de 17 ans sur la base de 10 logements, et serait inférieur à 10 ans pour plus de 50 logements. (source : Biofluides)

[20] http://www.vega-energies.com/110/

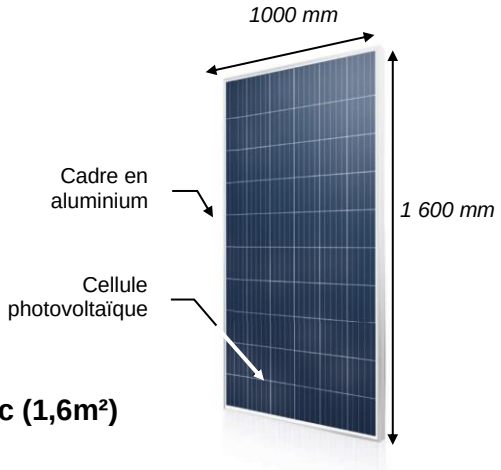
LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

FONCTIONNEMENT

Une **cellule photovoltaïque** est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse du soleil et la transforme en électricité.

Lorsqu'une cellule est exposée au rayonnement solaire, les photons de la lumière viennent frapper sa face avant. L'énergie des photons est partiellement transmise aux électrons qui se déplacent du pôle positif – face avant de la cellule – au pôle négatif – face arrière. C'est ce déplacement des électrons qui crée un courant électrique.

Chaque cellule photovoltaïque ne génère qu'une petite quantité d'électricité. Elles sont donc assemblées en série pour constituer un **module photovoltaïque**, qui se compose généralement d'un circuit de 60 cellules (ou 120 demie-cellules). Le matériau utilisé étant très fragile, les cellules sont protégées par des plaques de verre ou, à l'arrière, par un matériau composite. Un cadre en aluminium permet la fixation de ce module sur différents types de supports. Des modèles sans cadre permettent différentes variantes pour l'intégration architecturale.



Module photovoltaïque de 300 Wc (1,6m²)

Un **générateur photovoltaïque** est composé d'un champ de modules, de structures rigides (fixes ou mobiles) pour poser les modules, du câblage, et des onduleurs qui permettent de convertir le courant continu en courant alternatif revendu au distributeur d'électricité local.

Les matériaux employés (verre, aluminium) résistent aux pires conditions climatiques (notamment à la grêle). Les modules photovoltaïques sont généralement garantis 25 ans et leur durée de vie est d'environ 30 ans.

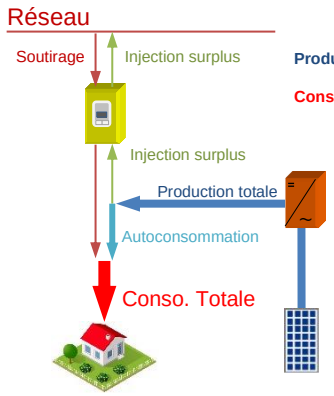
MODE DE VALORISATION DE L'ENERGIE PRODUITE

Historiquement, avec des tarifs d'achats très avantageux, il était économiquement plus viable de vendre en totalité l'électricité produite à EDF ou aux Entreprises Locales de Distribution (Régie d'électricité). Ainsi depuis 2006, la plupart des projets ont été conçus sur ce principe.

Avec la baisse des coûts des modules photovoltaïques (plus de 80% depuis 2010), la production d'énergie photovoltaïque devient désormais compétitive avec le coût de l'électricité du réseau. Il devient intéressant économiquement d'autoconsommer sa production plutôt que de vendre la totalité de son courant. Il y a alors deux notions à comprendre dans le cas de l'autoconsommation de l'électricité photovoltaïque :

Le taux d'autoconsommation et le taux d'autoproduction.

Schéma de principe d'une installation photovoltaïque



Production totale = **Autoconsommation** + **injection surplus**

Conso. totale = **Soutirage** + **Autoconsommation**

Taux d'autoconsommation

$$Tac = \frac{\text{Autoconsommation}}{\text{Production totale}}$$

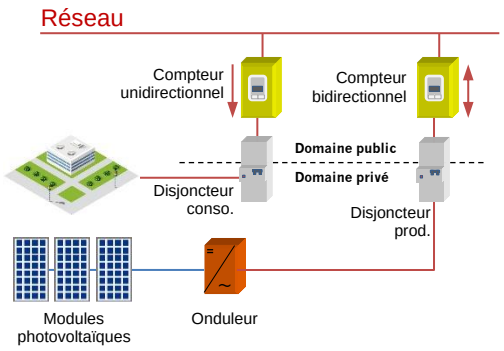
Taux d'autoproduction

$$Tap = \frac{\text{Autoconsommation}}{\text{Consommation totale}}$$

C'est bien le Taux d'autoproduction qui importe sur le plan énergétique et économique :

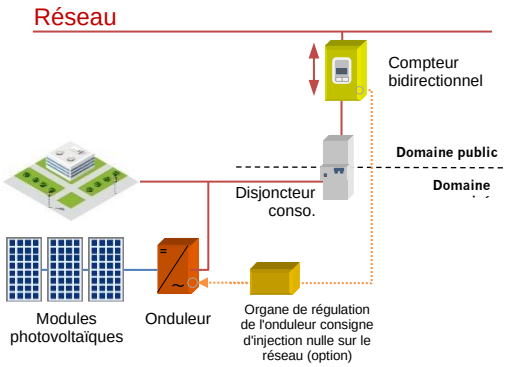
- Il est important qu'il soit le plus élevé, cela signifie que le système photovoltaïque couvre le maximum des besoins du site. En effet, en ne mettant par exemple que 100Wc sur une maison on atteint un taux d'autoconsommation de 100% mais de 1% seulement pour le taux d'autoproduction.
- C'est le taux d'autoproduction qui permet d'estimer les économies sur les kWh soutirés au réseau.

Voici les principaux modèles économiques de valorisation de l'électricité produite.



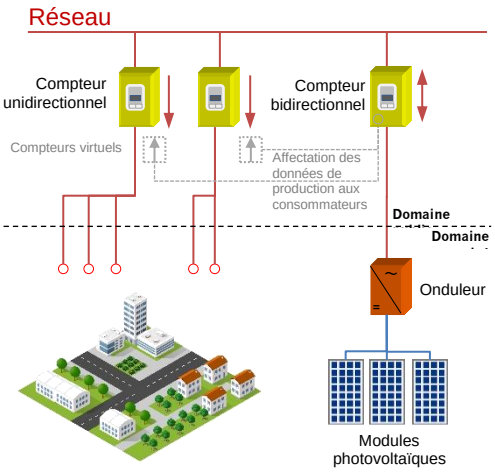
VENTE EN TOTALITE :

- la production photovoltaïque est complètement dissociée de la partie consommation du client,
- toute la production est injectée sur le réseau, mais les électrons se dirigent directement vers les équipements au plus proche (a priori dans le bâtiment s'il y a une consommation ou chez le plus proche voisin qui consomme),
- il y a des frais pour le deuxième compteur de production de l'énergie.



AUTOCONSOMMATION ET VENTE EVENTUELLE DU SURPLUS :

- la production photovoltaïque est en partie ou en totalité autoconsommée,
- si la production photovoltaïque excède la consommation du bâtiment, le surplus est comptabilisé par le compteur Linky est vendu à EDF ou aux Entreprises Locales de Distribution,
- lorsque le producteur s'est engagé à ne rien injecter sur le réseau, il y a alors un organe de régulation de l'onduleur qui régule la puissance de l'onduleur,
- il y a un seul compteur Linky qui se charge de comptabiliser la consommation et le surplus injecté sur le réseau.



AUTOCONSOMMATION COLLECTIVE :

- suivant les profils de consommation des différents consommateurs, on définit une clé de répartition de la production photovoltaïque à chacun d'entre eux,
- les kWh injectés par la production photovoltaïque sur le réseau public sont répartis selon la clé de répartition définie : c'est le principe de compteurs virtuels,
- dans l'idéal, la production photovoltaïque est en totalité autoconsommée,
- si la production photovoltaïque excède les consommations du bâtiment, le surplus est délivré gratuitement au réseau (le gestionnaire peut imposer au producteur de ne rien injecter sur le réseau),
- il y a un seul compteur Linky qui se charge de comptabiliser la consommation et le surplus injecté sur le réseau.

AVANTAGES DU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

La production d'électricité à partir de l'énergie radiative du soleil par l'intermédiaire de modules photovoltaïques présente des avantages importants :

- la ressource d'énergie utilisée est renouvelable, aucune pénurie ou fluctuation des prix n'est à craindre,
- la production d'électricité est réalisée sans qu'il n'y ait aucune pièce en mouvement, ce qui entraîne des frais de maintenance excessivement faibles et une exploitation aisée (les modules sont auto-nettoyés avec la pluie),
- le processus de production d'électricité n'a aucun impact sur l'environnement (ni rejet polluant, ni déchet, ni bruit, etc.),

- ce qui est produit est généralement consommé sur place, ce qui présente un intérêt du point de vue électrique puisque les pertes dans les câbles sont très faibles (contrairement au mode de production décentralisée, ex : centrale nucléaire). Même si l'électricité produite par les installations est injectée sur le réseau, en pratique l'électricité choisit le plus court chemin et est utilisée à l'endroit le plus proche de sa production,
- La filière de recyclage des panneaux PV CYCLE (désormais SOREN) a été fondée en 2007, financée par les industriels du photovoltaïque elle organise la collecte, le transport et le recyclage des modules photovoltaïques. Le taux de recyclage atteint 94% pour un module à base de silicium cristallin avec un cadre en aluminium. Le réseau est principalement constitué de points d'apports volontaires installés chez les distributeurs et installeurs partenaires (La collecte est financée par l'écoparticipation et est sans frais pour le détenteur). La collecte sans frais sur site est possible à partir de 40 panneaux photovoltaïques usagés ou deux unités de manutention.

Il est important de mettre en parallèle l'installation d'un générateur photovoltaïque sur un bâtiment avec la maîtrise de la consommation en énergie de ce bâtiment : cela permet une vraie cohérence entre une production d'électricité « propre » et une consommation énergétique maîtrisée.

Le panel d'actions à mettre en place dans le cadre d'une telle démarche est vaste : remplacement des ampoules classiques par des lampes basse consommation aux endroits appropriés, appareils électriques performants, etc. Certaines actions sont peu chères et faciles à mettre en œuvre, elles doivent donc absolument être réalisées pour une cohérence énergétique globale.

CONDITIONS A RESPECTER

Sur le plan règlementaire, la Loi Énergie et Climat, via l'Article L111-18-1 du Code de l'Urbanisme, impose à tout bâtiment à construire à compter de 2023 et d'une emprise au sol supérieure à 1000 m² l'obligation d'être pourvu d'un système de production de performance énergétique et thermique sur au moins 30% de sa surface disponible en toiture et en ombrières de parkings. Dans les faits, ces systèmes peuvent être des capteurs solaires thermiques, photovoltaïque ou une toiture végétalisée.

- Prévoir dès le début du projet un emplacement optimum pour l'intégration des modules photovoltaïques au bâti et pour une production maximale.
- Faire réaliser les travaux par un installateur compétent possédant l'agrément QualiPV, délivré par l'association Qualit'EnR.
- Investir en priorité sur la performance énergétique du bâti puis sur un chauffage très performant. Si toutes ces mesures ont été prises en compte il est cohérent d'étudier une solution photovoltaïque.
- Mettre en œuvre des équipements performants dans le bâtiment (éclairage, équipement électrique, etc.). Cela permet une vraie cohérence entre une production d'électricité « propre » et une consommation énergétique maîtrisée.

DIMENSIONNEMENT

PHOTOVOLTAÏQUE EN TOITURE

Les toitures des bâtiments prévus sur le **pôle mixte** représentent 13 200 m². En supposant que 50% de cette surface est couverte par des panneaux (prise en compte des équipements présents en toiture), 1,26 MWc de modules pourraient être installés. La production serait alors de **1 870 MWh/an**.

L'Agence Fontes indique que le **projet Stade** prévoit de développer 7 000 m² de panneaux photovoltaïques en toiture. En prenant les mêmes hypothèses de production que pour le pôle mixte, la puissance installée serait de 1,05 MWc et la production annuelle de **1 560 MWh/an**.

OMBRIERES PHOTOVOLTAÏQUES

D'après les éléments à disposition les parkings seraient intégrés aux silos présents de part et d'autre du stade ainsi qu'en partie souterraine sur 2 lots du pôle mixte. Il n'y aurait donc pas de parkings en surface susceptibles d'être couverts par des ombrières photovoltaïques, permettant à la fois de protéger les voitures des intempéries (soleil/pluie), mais surtout produire de l'électricité renouvelable.

On peut toutefois noter qu'équiper une place de parking de 12,5 m² permettrait de produire 2,8 MWh/an avec une installation de 1,9 kWc

BATIMENTS CIBLES
Idéalement, les modules sont orientés plein sud. Toutefois il faut tenir compte des masques environnants et de l'orientation du site. La puissance délivrée par l'installation est maximale dans le cas où le rayonnement solaire est perpendiculaire aux modules. Un angle de 30 à 35° permet de capter au maximum le rayonnement estival qui est le plus productif.

FOCUS SUR LES EQUIPEMENTS AUTONOMES

Pour des applications urbaines, les modules photovoltaïques peuvent être intégrés au mobilier urbain : au-dessus des horodateurs, sur un mât pour l'affichage en temps réel de la durée d'attente des bus, sur un panneau publicitaire pour son éclairage, etc.

L'installation photovoltaïque permet de s'affranchir d'un raccordement au réseau pour une consommation annuelle très faible (l'horodateur est un bon exemple). Éviter le raccordement au réseau signifie d'une part s'affranchir des tranchées et d'autre part ne pas avoir à payer un abonnement finalement cher pour l'équipement alimenté.

Figure 26 : Quelques exemples de mobilier urbain photovoltaïque

Eclairage public

De nombreux systèmes d'éclairage public solaires font leur apparition sur un marché encore peu structuré. De façon générale, ces lampadaires sont constitués :

- de panneaux photovoltaïques d'une cinquante à quelques centaines de Wc ;
- d'une batterie se logeant dans un caisson fixé en pied de mât ou à enterrer dans une réserve technique ;
- d'un régulateur ;
- d'un lampadaire « classique » : le mât et la lampe.

Figure 27 : Lampadaires photovoltaïques

Les modules photovoltaïques captent l'énergie en journée et la restituent du crépuscule à l'aube, par le biais de batteries. Des systèmes programmables – tels qu'un programmateur, un régulateur, un détecteur de présence, un système de télégestion – souvent en option, permettent de gérer les périodes d'allumage et donc d'améliorer l'autonomie du système en limitant le recours à l'électricité du réseau. Une centrale de commande détermine les heures d'éclairage. Il est également possible d'équiper ces lampadaires de détecteurs de présence déclenchant l'allumage dès le franchissement du périmètre surveillé. Les lampes utilisées sont des

ampoules fluorescentes à vapeur de sodium basse ou haute pression ou des LED. Quant aux batteries et au système de régulation, ils sont souvent intégrés au lampadaire (avec un bac à fleurs par exemple) ou sur un élément de mobilier proche (tel un banc).

Les systèmes d'éclairage photovoltaïque ont une autonomie moyenne de 3 à 4 jours pour un fonctionnement de 8 heures.

Dans le cadre de l'éclairage public, la mise en œuvre de modules photovoltaïques doit s'étudier dans une logique de cohérence esthétique (équiper par exemple tout un quartier), en s'attachant à calculer les coûts évités (raccordement au réseau traditionnel) et la rentabilité globale de l'opération. La notion de non-destruction de la voirie (point positif) ainsi que les **ombres portées des bâtiments sur les modules dans la journée** (point négatif) sont aussi des éléments dont il faut tenir compte.

L'investissement s'élève à 1 800 € en moyenne par candélabre, pour l'équipement et la pose, et se décompose comme suit :

- Équipement :
  - candélabre : mât + luminaire + crosse : de 800 € (sodium haute pression) à 1 100 € (bloc LED),
  - Panneau PV 50 Wc : 50€,
  - Batterie 50 Ah : 200 €,
  - Régulation : 50 €,
- Génie civil et pose : 400 €.

Il s'agit de postes estimatifs, pouvant subir d'importantes variations selon le projet, le type et le nombre de lampadaires, etc.

Horodateurs

Les horodateurs sont de loin le type de mobilier urbain faisant le plus appel au photovoltaïque, la rentabilité est telle qu'aucune subvention n'est nécessaire pour ce type d'application. Le surcoût pour un horodateur est de 350 € hors taxes. Dans le même temps, l'économie générée la première année est de 115 € environ sur l'abonnement et la consommation électrique et 140 € par mètre linéaire de tranchée pour le raccordement.

De même que pour les lampadaires photovoltaïques, attention à vérifier les ombres portées sur l'équipement, qui empêchent la production d'électricité, surtout sur ces équipements de faible hauteur.

Figure 28 : Horodateur photovoltaïque

ANNEXES

A. METHODOLOGIE POUR EVALUER LA PERTINENCE D'UN RESEAU DE CHALEUR

TRACE DES RESEAUX DE CHALEUR

Les réseaux de chaleur sont tracés à l'aide du logiciel de cartographie MapInfo. Le tracé est basé sur les éléments de programmation cartographique fournis par le maître d'ouvrage (hypothèse de disposition des bâtiments et des voiries) : le réseau est tracé en sorte à desservir toutes les parcelles prévues.

DENSITE ENERGETIQUE SEUIL

Afin de déterminer en première approche l'opportunité d'un réseau de chaleur à l'échelle d'un quartier, la valeur de la densité énergétique du futur réseau est utilisée comme indicateur. Il s'agit de l'énergie desservie par le réseau ramenée à la longueur du réseau. Plus cette valeur est importante plus le réseau est rentable car il nécessite un investissement initial et des coûts de fonctionnement moindres pour une production d'énergie équivalente.

D'après le manuel de l'ADEME : « Mise en place d'une chaufferie au bois - Étude et installation d'une unité à alimentation automatique », « en deçà de 4 à 5 MWh/m_l par an, le coût d'amortissement du réseau a un impact important sur le prix de revient de l'énergie finale distribuée. » D'autre part, Biomasse Normandie et le Comité Interprofessionnel du Bois Énergie proposent une valeur « courante » de faisabilité de 3 MWh livrés/(m_l.an). Ce seuil est un peu plus bas. Enfin, le seuil Fonds Chaleur ADEME est de 1,5 MWhef/(m_l.an) *(ef = énergie finale. Voir définition d'énergie finale en annexe)*.

Finalement, nous retenons la valeur seuil de 1,7 MWhef/(m_l.an), correspondant au seuil de faisabilité technique retenu par le Fonds Chaleur.

Cette approche permet d'identifier les réseaux potentiellement intéressants ; une étude économique plus précise est ensuite nécessaire pour les réseaux retenus afin de déterminer si réellement ils présentent une opportunité.

Remarque : Pour information, la densité thermique des réseaux de chaleur bois en France peut être découpée en fonction de la puissance bois (source : CIBE/AMORCE) :

- moins de 500 kW : 1,5 MWh/(m_l.an),
- 500 à 1 500 kW : 3 MWh/(m_l.an),
- 1 500 à 3 000 kW : 3,5 MWh/(m_l.an).

B. DEFINITION DES ENERGIES DITES UTILES, FINALES, PRIMAIRES

ÉNERGIE UTILE :

L'énergie utile caractérise le besoin énergétique brut, et représente l'énergie dont dispose l'utilisateur final à partir de ses propres équipements.

ÉNERGIE FINALE :

Il s'agit de l'énergie délivrée aux consommateurs pour être convertie en énergie utile.
L'énergie finale caractérise une consommation énergétique, son calcul intègre le rendement de l'équipement de production ou de pertes du réseau. C'est l'énergie qui est facturée au consommateur, qui est disponible pour l'utilisateur final.

ÉNERGIE PRIMAIRE :

C'est la forme première de l'énergie directement disponible dans la nature : bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent… L'énergie primaire n'est donc pas directement utilisable et fait l'objet de transformation (le raffinage du pétrole pour obtenir de l'essence ou du gazole par exemple).
Elle caractérise donc un coût énergétique global, prenant en compte l'énergie consommée, mais aussi l'énergie qu'il a fallu produire en amont pour transformer, transporter, distribuer, stocker cette énergie jusqu'au lieu de consommation.

CONVERSION ENERGIE UTILE/ENERGIE FINALE :

On a la relation : Énergie finale = Énergie utile x rendement de l'équipement de production

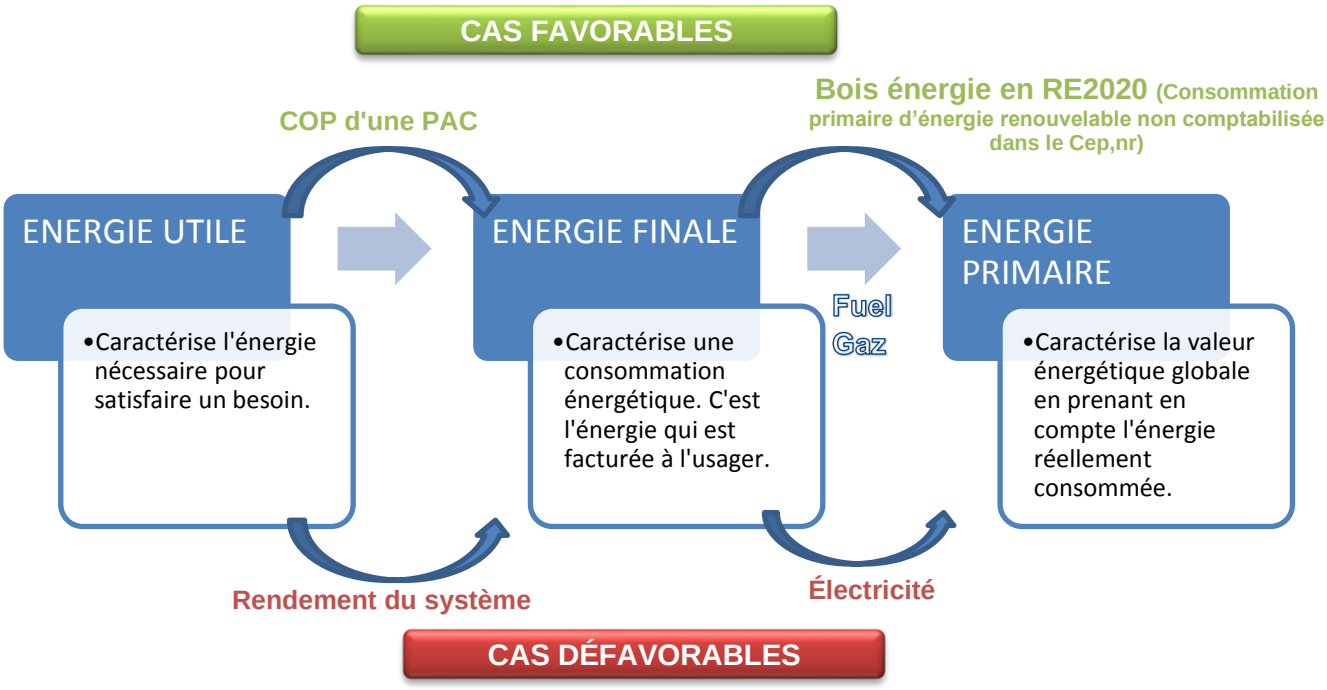
CONVERSION ENERGIE FINALE/ENERGIE PRIMAIRE :

On a la relation : Énergie primaire = Énergie finale x vecteur énergétique

Type d'énergie	RT 2012	RE 2020
Électricité	2,58	2,3
Bois	1	1
Gaz/Fioul	1	1

Tableau 1 : Vecteurs énergétiques selon les réglementations et les labels

Le vecteur énergétique de l'électricité varie en fonction du mix énergétique de chaque pays. La France, avec son parc de production nucléaire de faible rendement, est défavorisée par rapport à la Suisse par exemple (dont le vecteur énergétique de l'électricité est de 2).



EXEMPLE

Exemple d'un appartement situé en région parisienne de 100 m². Les seuils en énergie primaire sont ceux de la Réglementation Thermique 2012. Trois solutions sont comparées : chauffage au gaz, via une pompe à chaleur alimentée à l'électricité ou au bois.

Hypothèses :
Rendement de la chaudière gaz et bois : 95 %
Rendement de la pompe à chaleur(COP) : 300 %

Énergie de chauffage	Gaz naturel	Pompe à chaleur	Bois
Énergie utile	3 500 kWh	4 300 kWh	4 650 kWh
Énergie finale	3 700 kWh	1 450 kWh	4 800 kWh
Énergie primaire	3 700 kWh	3 700 kWh	4 800 kWh

Dans la pratique, le maître d'ouvrage peut donc moins isoler sa maison dans le cadre du bois énergie tout en atteignant la valeur réglementaire d'énergie primaire.

C. CLASSIFICATION DES COMBUSTIBLES BOIS ENERGIE

Les grands types de chaudières acceptent une certaine plage de variation des caractéristiques principales du combustible (granulométrie, humidité) ; il est donc essentiel de sélectionner dans un premier temps les types de combustibles admissibles en chaudière puis sur la base de la sélection retenue d'effectuer la régulation optimale de la chaudière.
En conséquence des producteurs de combustibles avec des moyens de production différents, et donc des produits un peu différents, doivent pouvoir être mis en concurrence régulièrement sur la base d'un même cahier des charges (leurs offres doivent pouvoir être comparables, la variable d'ajustement étant la régulation finale de la chaudière) (Source : CIBE).

Le tableau suivant présente les critères informatifs de la classification des combustibles 2019.

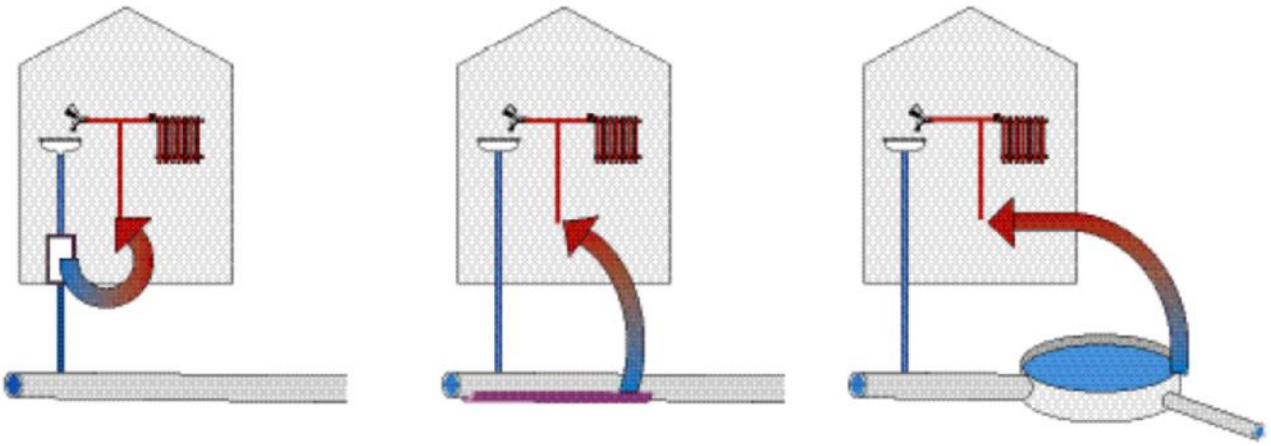
critères de classes			critères informatifs		
Classe	type de produit	usage chaufferie	PCI	types de pdts	Taux de cendres
C1	calibré fin sec petites plaquettes	petite puissance P < 200_500kW	PCI 3,4 à 4,2 MWh	PF, PB, PP, CIB, sans écorce	A 1_2
C2	calibré réssuyé plaquettes	moyenne puissance 300 kW < P < 2 MW	PCI 2,8 à 3,4 MWh	PF, PB, PP, CIB, taux d'écorce faible	A 1.0_2
C3	non calibré humide plaquettes ou mélanges	moyenne à forte puissance 1 MW < P	PCI 2,5 à 3,1 MWh	Mix produits, PF, PB, PP, CIB, BFV, EB taux d'écorce <50%	A 1.5_3
C4	non calibré sec broyats secs	forte puissance / Produits très secs 1 MW < P < 3_5 MW	PCI 3,9 à 4,5 MWh	BFV sans écorces	A 1_3
C5	non calibré très humide broyats et mélanges	forte à très forte puissance / Produits humides P > 5MW	PCI 1,9 à 2,8 MWh	Mix produits, (PF, PB, PP, CIB, BFV, EB) taux d'écorce élevé	A 7
C6	Mélanges spécifiques de bois déchiquetés	très forte puissance et cogénération P > 15 MW	spécifique	spécifique	spécifique

Lexique : PF plaquette forestière - PP plaquettes paysagères - PB plaquettes bocagères - CIB connexes de l'industrie du bois - BFV bois fin de vie - EB Ecorces broyées

Figure 29 : Nouvelle classification, critères de classes (CIBE, 2019)

D. EAUX USEES

En hiver, les eaux usées sont plus chaudes que l'air extérieur, constituant ainsi une source de chaleur. Au niveau des collecteurs d'eaux usées, le cas inverse se produit en été ; les bâtiments peuvent être rafraîchis grâce aux eaux usées. La récupération de chaleur (ou de froid) se fait de manière simple : un fluide caloporteur capte l'énergie des eaux usées par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur. L'énergie peut être récupérée à différents niveaux : au niveau du bâtiment, au niveau de la station d'épuration, ou au niveau des collecteurs d'eaux usées.



Récupération de l'énergie au niveau du bâtiment

Récupération de l'énergie au niveau des canalisations

Récupération de l'énergie au niveau de la station d'épuration

Figure 30 : Récupération de l'énergie des eaux usées (Source : Gestion et services publics, Suisse)

Au niveau des collecteurs

PRESENTATION

La température des eaux usées oscille entre 10°C et 20°C toute l'année.

Le chauffage collectif des bâtiments peut se faire de manière centralisée ou décentralisée. Dans le premier cas, la chaleur est produite au sein d'une unique chaufferie puis l'eau est acheminée à haute température vers les lieux de consommation via des canalisations isolées. Ce système est idéal lorsque les consommateurs sont proches les uns des autres.

Dans le cas d'un système décentralisé, l'eau est acheminée à basse température (entre 7 et 17°C) vers les chaufferies présentes dans chaque bâtiment. Cette solution présente l'avantage d'utiliser des canalisations non isolées et donc meilleur marché, ainsi que de réduire les pertes de chaleur. Elle est adaptée dans le cas de consommateurs éloignés de la source de captage de l'énergie. En revanche, les coûts d'installation et de maintenance de plusieurs chaufferies seront plus importants.

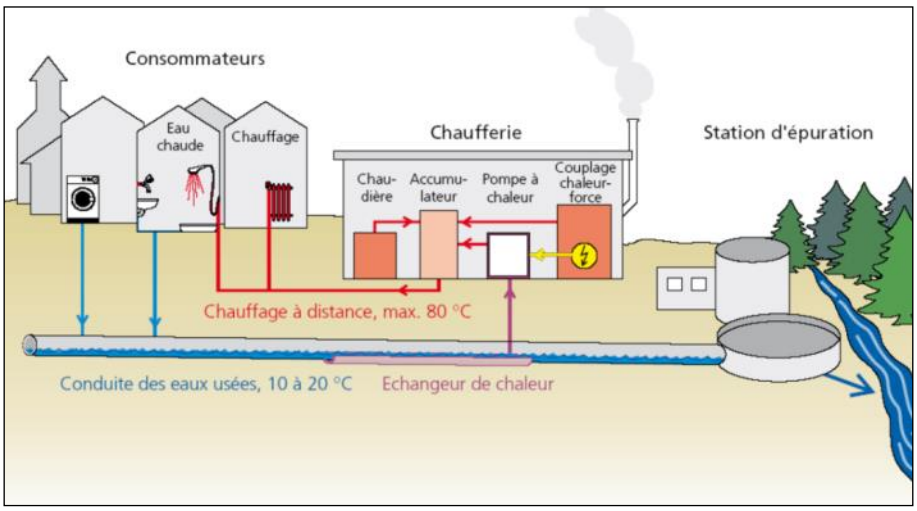


Figure 31 : Principe de fonctionnement de la récupération de chaleur des eaux usées sur les canalisations (*Source : Susanne Staubli)*

Dans le cas d'un réseau d'assainissement neuf ou lors d'une rénovation de tronçons, les échangeurs de chaleur peuvent être intégrés à la canalisation. Dans le cas inverse, les systèmes sont réalisés au cas par cas et déposés au fond des canalisations. Cependant, la mise en place de ce système, qui est aisée pour des constructions nouvelles, sera difficile et chère pour des canalisations anciennes et de petits diamètres.

Figure 32 : Canalisation préfabriquée avec échangeur de chaleur intégré
Source : Guide pour les maîtres d'ouvrages et les communes, OFEN

Figure 33 : Échangeur installé dans un ovoïde existant (Rabtherm), échangeur pour collecteur existant (Uhrig)
Source : Lyonnaise des Eaux

PERFORMANCE DU SYSTEME ET ECONOMIES D'ENERGIE

La performance du système est conditionnée par le système de chauffage des bâtiments alimentés (haute ou basse température), le débit des eaux, leur température et la configuration du réseau des eaux usées.

Le système de chauffage influence la performance de la pompe à chaleur, le COP. Celui-ci dépend de la différence entre la température de condensation et la température d'évaporation du fluide frigorigène. Les meilleurs COP sont obtenus avec de faibles différences de température. Un réseau d'eau chaude basse température est donc préférable pour obtenir une bonne performance du système.

Selon le bureau d'études BPR-Europe, la performance varie de 2 à 5 kW de puissance de chauffage/m² d'échangeur de chaleur, soit 1,8 à 8,4 kW par mètre linéaire d'échangeur. La longueur de l'échangeur est généralement comprise entre 40 et 80 m.

Au niveau du bâtiment

Il est également possible de récupération la chaleur des eaux usées avant que celles-ci n'atteignent le collecteur. La récupération se fait au niveau du bâtiment.

Les eaux usées des cuisines, salles de bain, lave-linge et lave-vaisselle sont acheminés à une température moyenne de 28°C vers un échangeur de chaleur. Les calories des eaux usées sont transmises au circuit secondaire via l'échangeur. L'eau ainsi préchauffée peut être directement introduite dans un ballon d'eau chaude qui portera sa température à 55°C grâce à l'énergie souhaitée (solaire, bois, électricité, gaz), tel que proposé par exemple par le système Thermocycle[21]. Elle peut également être acheminée vers une pompe à chaleur. Ce système est proposé par exemple par Biofluides Environnement, PME française.

Remarque : Il existe également des systèmes statiques, comme par exemple le Power-pipe : un échangeur de chaleur composé d'un tuyau d'évacuation en cuivre enrobé d'un serpentin de 4 à 6 tubes de cuivre est inséré directement dans la continuité du tuyau d'évacuation des eaux usées en remplaçant une section de ce dernier. Il permet ainsi un simple préchauffage de l'eau chaude sanitaire.

Figure 34 : Power-pipe

ÉCONOMIES D'ENERGIE

Une réduction de 40 à 60% de la consommation énergétique en eau chaude sanitaire est envisageable. Ce type d'installation peut être couplé à une installation solaire thermique, pouvant alors couvrir jusqu'à 80% de la demande en ECS.

CONTRAINTES

Il est nécessaire de séparer les eaux grises des eaux-vannes avant le dispositif de récupération de chaleur. Ceci peut nécessiter la mise en place d'un nouveau collecteur. Dans certains cas, il peut être impossible de séparer les eaux usées.

[21] http://www.vega-energies.com/110/