PROJET SAINT SERGE FAUBOURG ACTIF À ANGERS

Étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables V2 – 03/11/2021

le conseil by egis

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION 2

II. RAPPEL DES BESOINS 3

II.1. PRESENTATION DU PROJET 3
II.2. BESOINS ENERGETIQUES PREVISIONNELS 6
II.2.1. BESOINS DE CHAUFFAGE 6
II.2.2. BESOINS ECLECTRICITE 6
II.3. DONNEES METEOROLOGIQUES 7

III. IDENTIFICATION DE LA RESSOURCE ET DES SOLUTIONS TECHNIQUES 8

III.1. ÉNERGIE SOLAIRE 8
III.1.1. POTENTIEL LOCAL 8
III.1.2. SOLAIRE THERMIQUE 9
III.1.3. SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE 10
III.2. EOLIEN 11
III.2.1. GRAND ET MOYEN EOLIEN 11
III.2.2. PETIT EOLIEN 13
III.3. ENERGIE HYDRAULIQUE 14
III.4. METHANISATION DES DECHETS 16
III.5. BOIS ENERGIE 17
III.5.1. CHAUFFERIE PLAQUETTE 17
III.5.2. CHAUFFERIE A GRANULES DE BOIS 17
III.5.3. COGENERATION BOIS 17
III.6. RECUPERATION DE CHALEUR 19
III.6.1. RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES EAUX USEES URBAINES 19
III.6.2. RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES EAUX USEES DU PROJET 20
III.6.3. RECUPERATION DE CHALEUR SUR PROCESS 21
III.6.4. RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHAUD URBAIN EXISTANT 22
III.7. GEOTHERMIE 24
III.7.1. GEOTHERMIE SUR NAPPE 24
III.7.2. GEOTHERMIE SUR PIEUX 27

IV. SYNTHESES DES PISTES ÉNERGETIQUES 28

V. ETUDE DES SOLUTIONS TECHNIQUES 29

V.1. CHAUFFERIE GAZ A CONDENSATION : SOLUTION DE REFERENCE 29
V.2. CHAUFFERIE GAZ + PHOTOVOLTAIQUE + SOLAIRE THERMIQUE - SCENARIO 1 30
V.3. CHAUFFERIE BOIS + PHOTOVOLTAIQUE - SCENARIO 2 32
V.4. RACCORDEMENT AU RESEAU DE CHALEUR + PHOTOVOLTAIQUE - SCENARIO 3 34

VI. SYNTHESE DES DIFFERENTS SCENARIOS 35

VII. CONCLUSION 37

I. INTRODUCTION

Le présent document est rédigé par EGIS Conseil pour la réalisation d'une étude de potentiel en énergies renouvelables sur le secteur de projet Saint Serge Faubourg actif à Angers.

Cette étude s'inscrit dans le cadre réglementaire défini par l'article L.300-1 du Code de l'Urbanisme stipulant que « toute action ou opération d'aménagement faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération. »

Dans ce document les étapes suivantes seront détaillées :

- Analyse des besoins prévisionnels du site permettant d'affiner les choix énergétiques et des données contextuelles
- Inventaire des potentialités naturelles du site et des sources d'énergies disponibles, permettant de dégager les solutions les plus pertinentes
- Hiérarchisation des solutions en fonction du potentiel local

L'objectif est de dégager les sources énergétiques renouvelables et de récupération les plus pertinentes pour leur développement sur le projet.

Une évaluation des besoins des constructions futures est réalisée et confrontée au potentiel des sources d'énergies suivantes :

Énergies renouvelables :

- Solaire
- Éolien
- Géothermie
- Hydraulique
- Méthanisation
- Bois énergie

Énergies de récupération :

- Raccordement aux réseaux urbains existants
- Récupération d'énergie sur les eaux usées passant dans un collecteur de la station d'épuration
- Récupération d'énergie sur les productions frigorifiques (Data Center, centres commerciaux, logistique)

II. RAPPEL DES BESOINS

II.1. PRESENTATION DU PROJET

Le projet d'aménagement s'intègre dans la volonté de développer les activités économiques de la communauté urbaine d'Angers et de requalifier l'entrée de ville et d'agglomération que constitue le quartier Saint-Serge.

Pour cela, la collectivité envisage le renouvellement urbain de la zone d'activité déjà existante sur le secteur de Saint Serge à Angers (49) afin de renforcer le développement économique, le lien avec le centre-ville et de renouer avec la rivière.

Le projet vise à créer des nouvelles entreprises qui prennent en compte les enjeux environnementaux dans l'aménagement des espaces et des constructions tout en gardant les entreprises déjà existantes.

La zone d'activité de Saint Serge - Faubourg actif s'étend sur une surface de 26 hectares et se compose de plusieurs lots où différents types d'entreprises et d'activités commerciales qui s'implanteront par la suite au fur et à mesure.

Figure 1: Vue aérienne du périmètre de la zone d'activité de Saint Serge – Faubourg actif à Angers

La ZAC se compose de plusieurs parcelles d'une superficie de 179 487 m² dont l'emprise bâtie est de 70 447 m².

Le secteur de projet Saint Serge Faubourg est délimité comme suit :

- Au Nord, le boulevard Gaston Ramon ;
- À l'Est, l'ancienne voie ferrée de Saint Serge ;
- Au Sud, la rue Nicolas Joseph Cugnot;
- A l'Ouest, la voie des berges.

Le projet de Saint Serge est réparti en plusieurs activités différentes. Le plan ci-dessous présente l'activité de chaque parcelle :

Figure 2: Plan de la ZAC Saint Serge – Faubourg Actif à Angers

Le tableau suivant regroupe les surfaces des différentes parcelles et leurs activités correspondantes :

Parcelles	Superficie(m²)	Emprise bâtie (m²)	Activités
24 (37-38-39)	21 758	7 344	Entreprise BTP (équipement construction/décoration)
11	2 485	1 446	Entreprise BTP (électricité)
10	7 950	4 422	Automobile (pièces auto/entretien)
35	848	149	Activités économiques (Dépôt/Vente)
36	848	149	Activités économiques (Dépôt/Vente)
34	7 583	3 984	Entreprie BTP (chauffage) et Activités économiques (Mercerie)
8	6 072	1 617	Activités économiques (Vente matériel)
13	5 117	0	-
14	5 998	1 289	Entreprise BTP (équipement construction/décoration)
15	10 941	0	-
41	19218	9077	Automobile (pièces auto), Activités économiques (Mercerie et dépôt/vente)
40	6 710	4 132	Entreprise BTP (électricité)
211	6 112	2 983	Entreprie BTP (chauffage/plomberie)
210	9918	5467	Automobile (Concessionnaire)
69	7420	1072	Automobile (Concessionnaire)
3	3783	1327	Automobile (Concessionnaire)
4	3 631	2 574	Entreprise BTP (électricité, chauffage/plomberie)
5	3 312	183	Entreprise BTP (chauffage/plomberie) et Activité économiques (Boutique d'alimentation)
42-43	17836	7569	Automobile (Concessionnaire)
78	2 429	1 540	Entreprie BTP (électricité) et Activité économique (Salle de sport)
79	2 172	1 377	Entreprise BTP (chauffage/plomberie), Activité économique (Boutique de sport, Boutique alimentaire) et Automobile (entretien/service auto)
202	3 331	839	Entreprise BTP (chauffage/plomberie) et Activité économique (Location de voiture, Entretien/propreté)
200	2 906	1 844	Entreprise BTP (chauffage/plomberie et équipement construction), Activité économique (Boutique de sport) et Automobile (entretien/service auto)
189	2 232	1 377	Entreprise BTP (équipement construction/décoration)
191	1 024	0	-
71	7906	4016	Automobile (Pièces auto)
72	2 705	1 111	Activités économiques (Boutique de sport, dépot/vente)
65	2 040	881	Entreprise BTP (équipement construction/décoration)
64	3 134	1 391	Entreprise BTP (chauffage/plomberie)
63	2 069	1 287	Entreprise BTP (équipement construction/décoration) et Activité économique

Certaines parcelles contiennent des activités différentes. Les hypothèses ci-dessous ont été prises pour répartir leurs surfaces par activité.

Parcelles	Superficie(m²)	Emprise bâtie (m²)	Activités et répartition de surface en %
34	7 583	3 984	50% entreprises second œuvre BTP (chauffage et menuiserie) et 50% activités économiques (dépôt/vente et mercerie)
41	19218	9077	70% activités économiques (mercerie et dépôt/vente) et 15% automobile et 15% entreprise second œuvre BTP
5	3 312	183	65% activités économiques et 35% entreprise second œuvre BTP
78	2 429	1 540	50% entreprises BTP électricité et 50% activité économique (salle de sport)
79	2 172	1 377	50% activité automobile, 20% activités second œuvre BTP, 30% activités économiques (alimentaire et boutique de sport)
202	3 331	839	70% activités économiques (location matéreil de travaux/chantier) et 30% entreprise second œuvre BTP
200	2 906	1 844	40% automobile, 30% second œuvre BTP et 30% activités économiques (sport)
63	2 069	1 287	60% activité économique (restauration) et 40% Entreprise second œuvre BTP

Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif des surfaces par type d'activité :

Activités	Surfaces bâties (m²)
Activités économiques	14 587
Entreprises BTP	29 200
Automobile	26 661
Total	**70 447**

II.2. BESOINS ENERGETIQUES PREVISIONNELS

En fonction des activités de chaque zone il a été considéré des ratios de consommations moyens, comparables à ceux de la RT2012 de la zone climatique H2b.

Il a été considéré :

- Type 1 : activités économiques – Cep max = 115 kWh ep/an.m² SHON RT
- Type 2 : entreprises BTP – Cep max = 80 kWh ep/an.m² SHON RT
- Type 3 : automobile BTP – Cep max = 70 kWh ep/an.m² SHON RT

Type activité	Cep max	Dont chauffage	Dont ECS	Dont froid	Dont élec (conventionnelle)
	kWh ep/an.m² SHON RT	kWhep/an.m² SHON RT	kWhep/an.m² SHON RT	kWhep/an.m² SHON RT	kWhep/an.m² SHON RT
Activités économiques	115	55	15	0	45
Entreprises BTP	80	45	7	0	28
Automobile (pièces et service auto, concessionnaire)	70	35	5	0	30

Les valeurs types de consommations de chauffage et d'ECS sont issues de l'outil de la commission Titre V réseau de chaleur.

Il n'a pas été considéré de besoins de froid. Les consommations électriques évaluées concernent l'éclairage, la ventilation, les auxiliaires divers.

II.2.1. BESOINS DE CHAUFFAGE

Les besoins de chauffage varient fortement selon la typologie du bâtiment. Les consignes de température diffèrent fortement en fonction des usages. Le bilan calorifique du projet est estimé en fonction des ratios de consommation de chaque usage des différents bâtiments et leurs surfaces.

Consommations chauffage MWhef	Consommations ECS MWhef
3 049	557

II.2.2. BESOINS ECLECTRICITE

Les consommations conventionnelles estimées pour la ventilation, les auxiliaires et l'éclairage sont les suivantes :

Consommations électriques MWhef
5 866

II.3. DONNEES METEOROLOGIQUES

La climatologie a une influence considérable sur la demande en énergie. Les températures moyennes, l'insolation et les caractéristiques des vents dominants ont un impact majeur sur la demande énergétique des bâtiments.

Par ailleurs, le potentiel de développement en énergies renouvelables est également largement dépendant des conditions météorologiques locales (exemple : solaire thermique).

La station d'Angers sera notre station de référence.

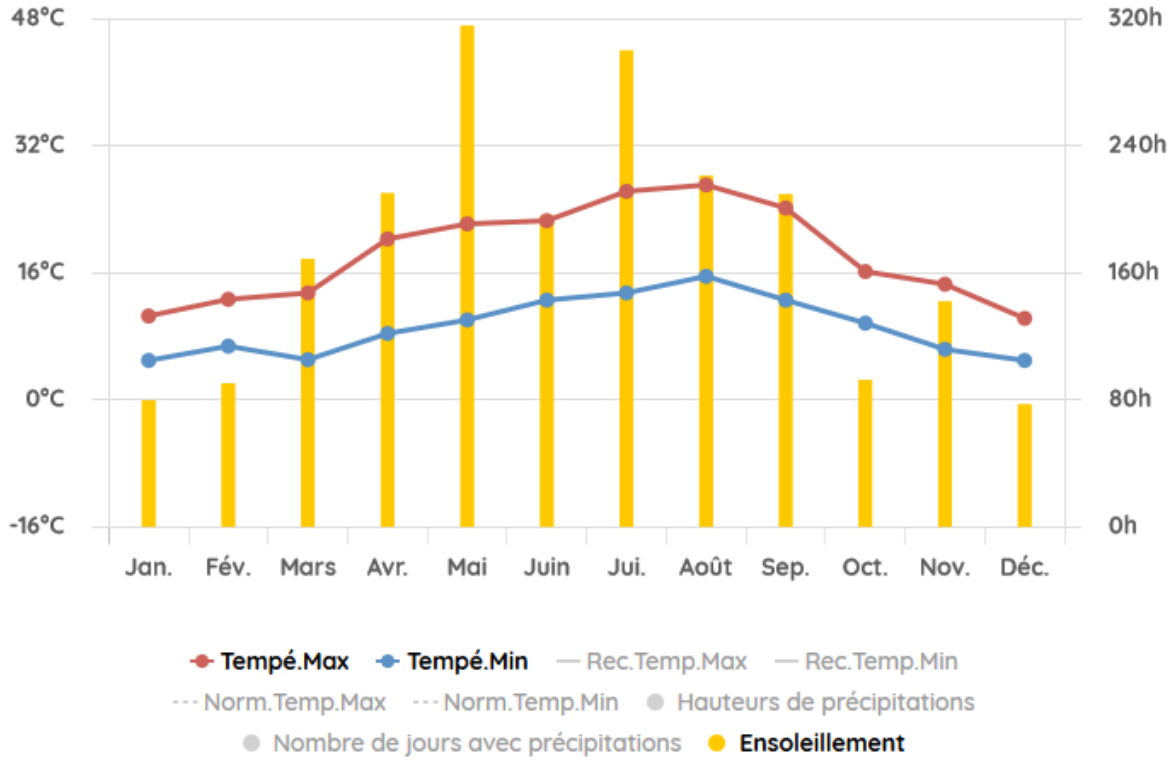


Figure3 : Données climatiques de la station d'Angers (Source : Météo France)

III. IDENTIFICATION DE LA RESSOURCE ET DES SOLUTIONS TECHNIQUES

III.1. ÉNERGIE SOLAIRE

III.1.1. POTENTIEL LOCAL

Afin de connaître le potentiel local, plusieurs facteurs peuvent être étudiés. Dans cette étude nous avons pris en compte :

- **La durée d'ensoleillement** (Source : Météo France) ;
- **L'irradiation globale horizontale (IGH) (Source : logiciel Calsol) ;**

  Celle-ci est définie par l'énergie lumineuse réelle reçue du Soleil à la surface de la Terre durant une période donnée en tenant compte des phénomènes météorologiques.
- **L'irradiation totale reçue en une année par une surface d'un m² inclinée de 35°** (Source : logiciel PVGIS).

  Ce logiciel PVGIS propose des données d'ensoleillement directement sur la zone d'étude grâce à un algorithme permettant d'estimer l'irradiation en fonction des données mensuelles moyennes relevées pour des ciels dégagés et couverts, en fonction des ombrages dus au relief. Les résultats sont ensuite croisés avec une autre base de données européenne reprenant des données relevées au niveau du sol.

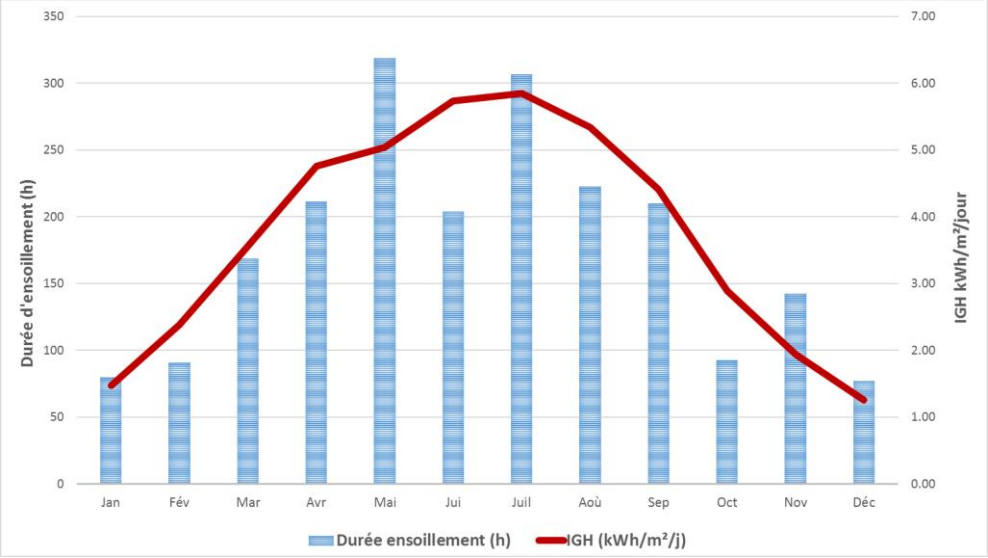


Figure 4 : Ensoleillement et irradiation moyenne globale de la ville d'Angers

La station de référence révèle une durée d'ensoleillement de **2 125 h**, d'une IGH moyenne de **3,72 kWh/m²/jour** et quant à l'irradiation totale reçue en une année sur 1m² incliné à 35°, celle-ci atteint **1 483 kWh**.

Le potentiel régional en énergie solaire est favorable aux installations de type solaire thermique ou

photovoltaïque : c'est une ressource exploitable pour le site. Cependant il faut considérer :

- **L'orientation et l'exposition**

Les bâtiments, dont l'orientation de la toiture est en deçà du sud-est et au-delà du sud-ouest, sont considérés comme n'étant pas favorables à l'implantation de capteurs solaires.

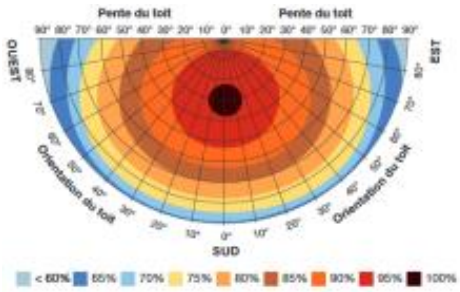


Figure 5 : Optimum d'inclinaison et d'orientation d'un panneau solaire

- **Les priorités sur l'occupation des espaces disponibles**

Un arbitrage sera nécessaire entre les différentes fonctions de la toiture : production solaire thermique ou photovoltaïque, autres installations techniques, rétention d'eau, végétalisation, accessibilité aux occupants, etc.

III.1.2. SOLAIRE THERMIQUE

La technologie solaire thermique consiste à récupérer de l'énergie solaire, connue pour son intermittence, afin de répondre à des besoins.

Les capteurs solaires transforment le rayonnement solaire en chaleur grâce à un absorbeur : un corps noir caractérisé par des propriétés d'absorption très élevées et d'émissivité très basse. Celui-ci transfère la chaleur à un fluide caloporteur circulant au travers de chacun des capteurs.

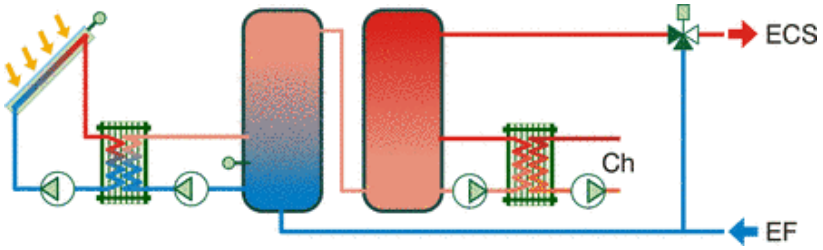


Figure 6 : Schéma d'un dispositif du solaire thermique

Lorsque la différence de température entre la sonde du capteur et la sonde en fond de ballon dépasse quelques degrés, les circulateurs s'enclenchent.

Le fluide caloporteur, circulant dans le circuit primaire, achemine alors l'énergie solaire depuis les capteurs vers le ou les ballons de stockage à travers un échangeur. Les installations sont ainsi dimensionnées au regard des besoins. Ces derniers se différencient en deux catégories :

- **Les besoins calorifiques**

Après avoir capté l'énergie solaire, la chaleur ainsi produite alimente le réseau d'ECS ou de chauffage du bâtiment permettant de couvrir une partie des besoins d'eau chaude sanitaire et de chauffage.

- **Les besoins frigorifiques**

L'énergie délivrée par les systèmes solaires peut également être utilisée par des machines de production de froid ou de traitement d'air pour produire de l'énergie frigorifique permettant d'assurer le rafraîchissement des locaux

Cette solution généralement est économiquement intéressante pour des bâtiments disposant d'un besoin en eau chaude suffisamment important et régulier.

<u>Application au projet</u>

Compte tenu de la une durée d'ensoleillement de **2 125 h** à Angers, la mise en place de panneaux solaires thermiques est intéressante pour subvenir à une partie des besoins en ECS de la zone d'activité Saint Serge.

Potentiel de la ressource : Localement important avec des surfaces disponibles

Pertinence : Fort

III.1.3. SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE

Le solaire photovoltaïque consiste à transformer l'énergie solaire en énergie électrique par l'intermédiaire de cellules photovoltaïques. Ces cellules peuvent être disposées sur des panneaux rigides ou intégrées dans un support souple.

L'installation est raccordée au réseau pour l'autoconsommation ou la revente de l'électricité. Les différentes applications des panneaux permettent de diversifier leurs usages surs :

- **Bâtiment** (Toiture, garde-corps, terrasse, brise-soleil, verrière, façade, bardage, pergola)
- **Mobilier urbain** (luminaires solaire autonomes)

L'utilisation de luminaires autonomes vise à répondre à de petits besoins électriques et alimenter des appareils électriques. Ce type d'installation peut ainsi garantir l'autonomie énergétique d'un lampadaire. Il sera nécessaire d'étudier les ombrages afin de déterminer la production solaire des différents lampadaires selon leur lieu d'installation.

Limite réglementaire

Il n'y a pas de contrainte réglementaire locale particulière pour la mise en place de panneaux photovoltaïques.

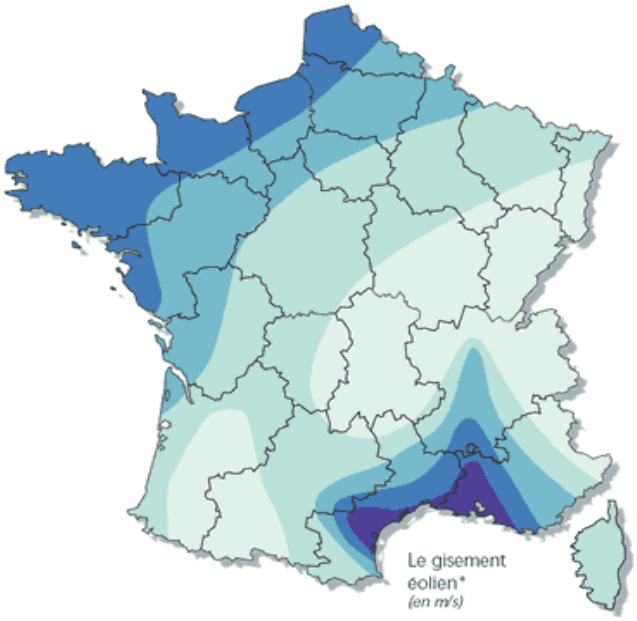
Potentiel de la ressource : Localement important

Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système : Un taux de couverture de 30% des besoins d'éclairage OU de la revente totale de la production de l'installation photovoltaïque

Pertinence : Forte

III.2. EOLIEN

Tout comme la mise en place de systèmes cités précédemment, l'implantation d'éolienne peut représenter une opportunité pour la production locale d'électricité.



	Vitesse des vents (m/s)
Zone 1	< 4,5
Zone 2	4,5 – 5,5
Zone 3	5,5 – 6,5
Zone 4	6,5- 7,5
Zone 5	> 7,5

Figure 7 : Vitesse du vent en France (Source : ADEME)

L'emplacement du projet se situe en zone 2, soit une vitesse de vent de l'ordre de 4,5 à 5,5m/s.

Afin d'étudier au mieux le potentiel éolien, nous avons différencié les nombreuses technologies :

- Petit éolien – hauteur inférieure à 12 mètres (de moins de 1 kW jusqu'à 36 kW)
- Moyen éolien – hauteur comprise entre 12 et 50 mètres (de 36 kW à 250 kW)
- Grand éolien – hauteur supérieure à 50 mètres (de plus de 250 kW)

Nous avons choisi de regrouper les deux dernières technologies étant donné leurs nombreuses similitudes, notamment au niveau réglementaire.

III.2.1. GRAND ET MOYEN EOLIEN

D'après le SCRAE (schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie), le niveau minimum requis pour la validation administrative d'une proposition de ZDE est d'une vitesse supérieure de 4,5 m/s à 100 m de hauteur.

La cartographie ci-dessous permet de visualiser les zones favorables au développement de l'éolien des Pays de la Loire.

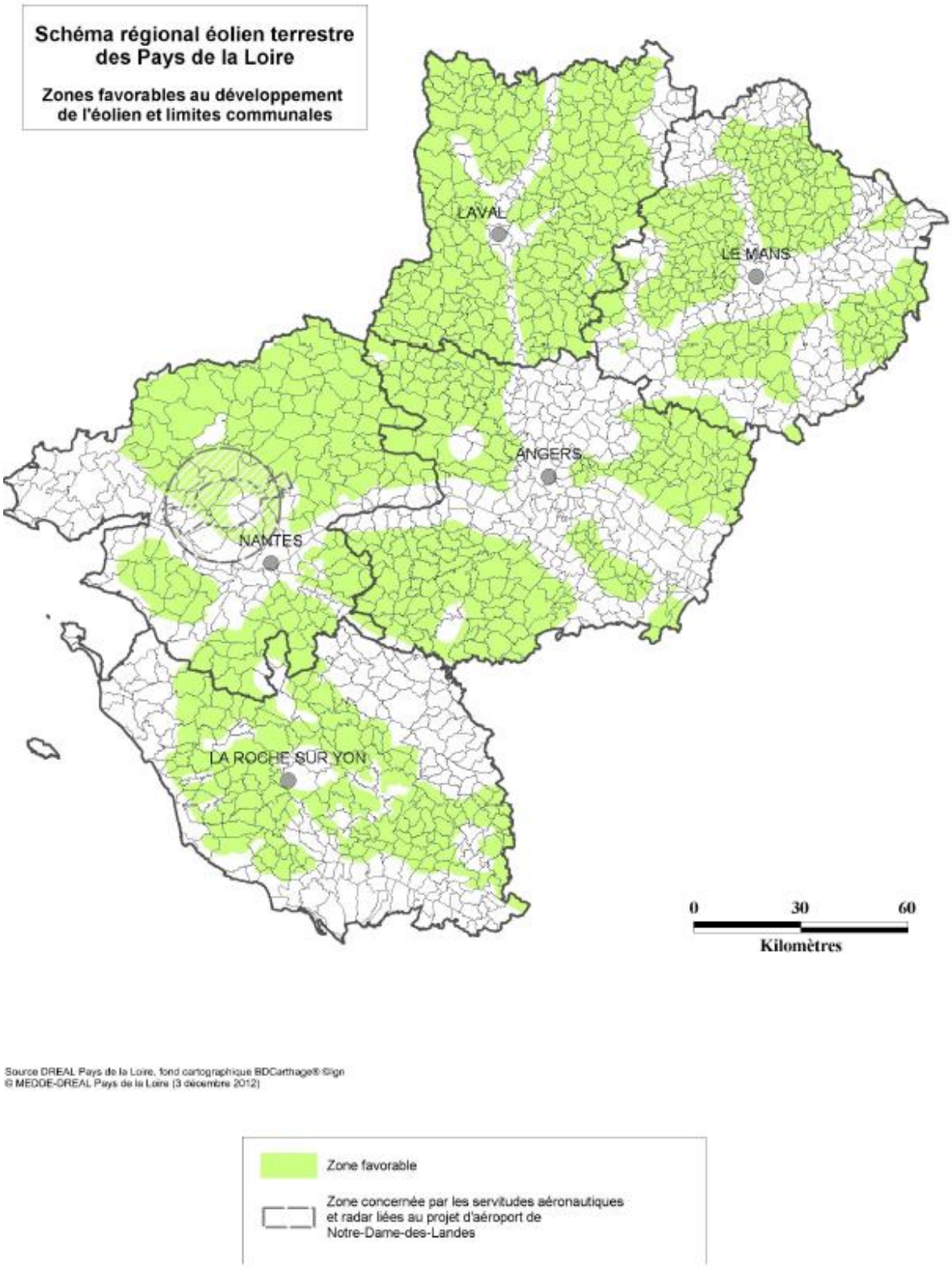


Figure 8 : Carte des zones favorables au développement de l'éolien des Pays de la Loire (Source : La DREAL)

Application au projet :

Le schéma régional éolien terrestre des Pays de la Loire ci-dessus mentionne que la zone étudiée est défavorable à l'implantation de grandes et moyennes éoliennes.

Potentiel de la ressource : Défavorable dans le cadre du projet

Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système : Non

Pertinence : Nul

III.2.2. PETIT EOLIEN

Le petit éolien est généralement utilisé pour produire de l'électricité et alimenter des appareils de manière économique et durable, principalement en milieu rural ou en site isolé.

De manière générale, le gisement éolien local est limité à cause de la vitesse de vents dans cette zone urbaine. Lorsque le territoire est fortement urbanisé, celui-ci se prête mal à l'exploitation de l'énergie éolienne, notamment à cause de la rugosité de la zone.

Dans cette étude de potentiel, les nombreuses contraintes tendent à nous orienter vers les éoliennes du type Darrieus/Savonius en toiture du bâtiment.

Les éoliennes de type Darrieus/Savonius peuvent être soit installé en toiture, soit sur un pylône adjacent au bâtiment. Très peu bruyante, celles-ci ont été conçues pour s'adapter au mieux avec les contraintes engendrées par les turbulences du milieu urbain mais leur performance reste encore limitée.

Figure 9 : Exemples d'application de micro-éolien sur luminaire

Une micro-éolienne à axe horizontal peut également être envisagée. Les contraintes sont globalement les mêmes que pour le type Darrieus/Savonius. Grâce à leur design, elles peuvent fonctionner avec des vents provenant de toutes les directions et sont moins soumises aux perturbations que les éoliennes à axe horizontal. Elles sont relativement silencieuses et peuvent facilement s'intégrer au design des bâtiments.

Concernant l'électricité produite, au regard du faible volume produit, il est plus pertinent de l'autoconsommer.

Pour dimensionner précisément le potentiel éolien de la zone, une étude de vents est obligatoire.

Application au projet

La rentabilité de ce type d'installation est faible voire nulle. En effet, l'investissement est très important par rapport à la production d'électricité. Cependant, cette solution semble envisageable dans le cas où le maître d'ouvrage souhaite s'inscrire dans une vision forte et visible de production d'électricité de source renouvelable.

Potentiel de la ressource : Faible

Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système : Oui électricité uniquement mais peu pertinent

Pertinence : Faible

III.3. ENERGIE HYDRAULIQUE

L'énergie hydroélectrique est une énergie électrique renouvelable qui est issue de la conversion de l'énergie hydraulique en électricité. L'énergie cinétique du courant d'eau, naturelle ou générée par la différence de niveaux, est transformée en énergie mécanique par une turbine hydraulique, puis en énergie électrique par une génératrice électrique synchrone ou asynchrone.

Figure 10 : Carte des installations d'énergies marines renouvelables en France

Le projet se situe dans la région des pays de la Loire. La puissance hydraulique raccordée à cette région est de 11 MW avec une production de 21 GWh ce qui ne représente que 0.1 % de la production hydraulique produite en 2020 en France ce qui est très faible part par rapport aux autres régions.

Application au projet

Il est envisageable d'exploiter l'énergie hydraulique des cours d'eau à condition que ces derniers aient un débit suffisant et que le relief local permette d'envisager une chute d'eau conséquente. La puissance d'une centrale hydroélectrique dépend en effet d'un rapport comprenant le débit turbinable d'une part et la hauteur de chute d'autre part.

La carte ci-dessous laisse apparaître que le périmètre d'étude est longé par la Maine dont le débit est très important.

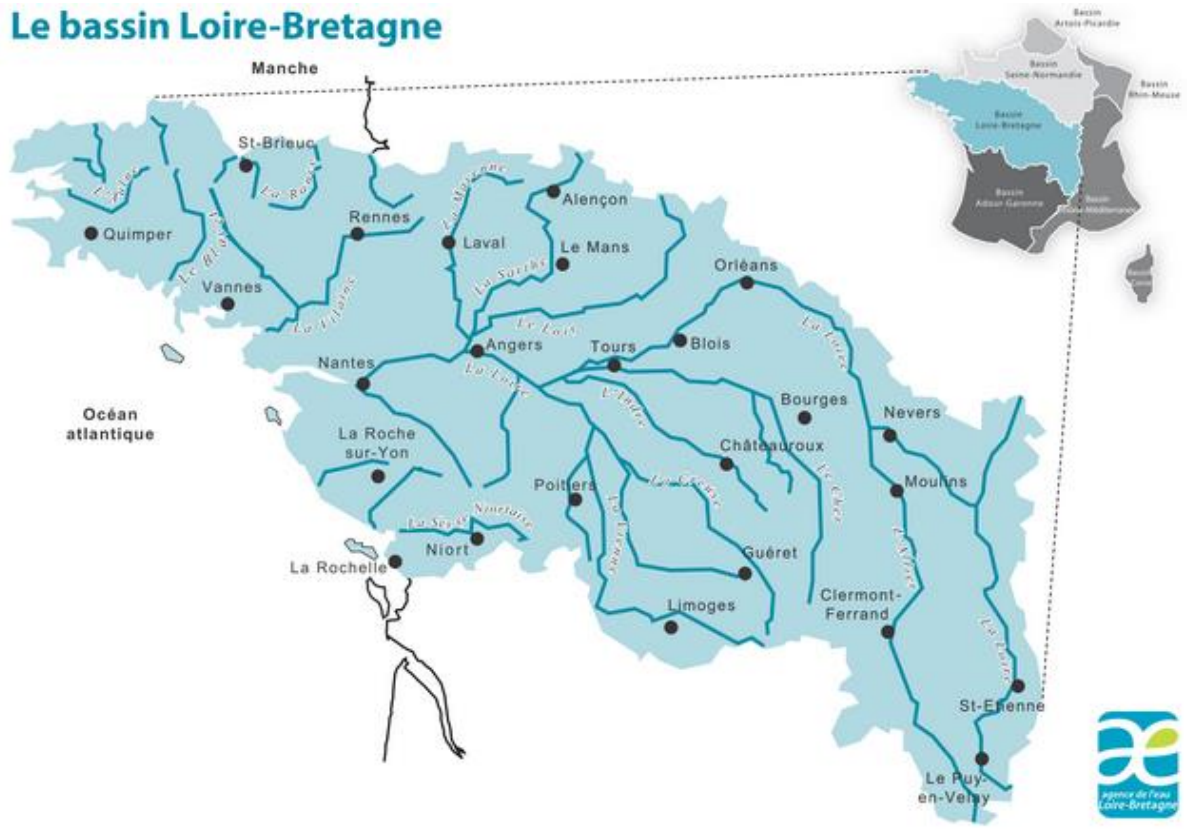


Figure 11: Localisation et classement des cours d'eau du territoire étudié

Cependant, ce cours d'eau majeur est classé en liste 1 au titre de l'article L. 214-17 du code de l'environnement et ne peut ainsi pas être utilisé à des fins énergétiques. Ce cours d'eau en liste 1 est en effet "en très bon état écologique ou identifiés par les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux comme jouant le rôle de réservoir biologique nécessaire au maintien ou à l'atteinte du bon état écologique du cours d'eau d'un bassin versant ou dans lequel une protection complète des poissons migrateurs vivant alternativement en eau douce est nécessaire, sur lequel aucune autorisation ou concession ne peut être accordée pour la construction de nouveaux ouvrages s'ils constituent un obstacle à la continuité écologique."

Ainsi, pour des raisons à la fois techniques et réglementaires, et afin de ne pas entraver la libre circulation des poissons migrateurs, il n'est pas envisageable d'utiliser l'énergie hydraulique des cours d'eau présents sur le territoire étudié.

En dehors de ces aspects, il faut aussi tenir compte du fait que l'exploitation de l'énergie hydraulique peut impacter le paysage et le patrimoine local puisque les ouvrages à créer sont en général importants (bâtiment usine, barrage et prise d'eau, conduite forcée le cas échéant).

Potentiel de la ressource : Faible

Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système : Non

Pertinence : Nul

III.4. METHANISATION DES DECHETS

La méthanisation (ou « digestion anaérobie ») est une technologie basée sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène.

Cette dégradation effectuée au sein d'une cuve appelée « digesteur » aboutit à la production :

- D'un produit humide, le « digestat », riche en matière organique partiellement stabilisée. Sous réserve de respect d'exigences de qualité agronomique et sanitaire, il est susceptible d'être épandu sur des terres agricoles ou peut devenir, après une phase de compostage et de maturation, un amendement organique;
- De biogaz, mélange gazeux composé d'environ 50% à 70% de méthane, qui, épuré et enrichi, peut être valorisé sous différentes formes (électricité, chaleur, carburant) en tant qu'énergie de récupération.

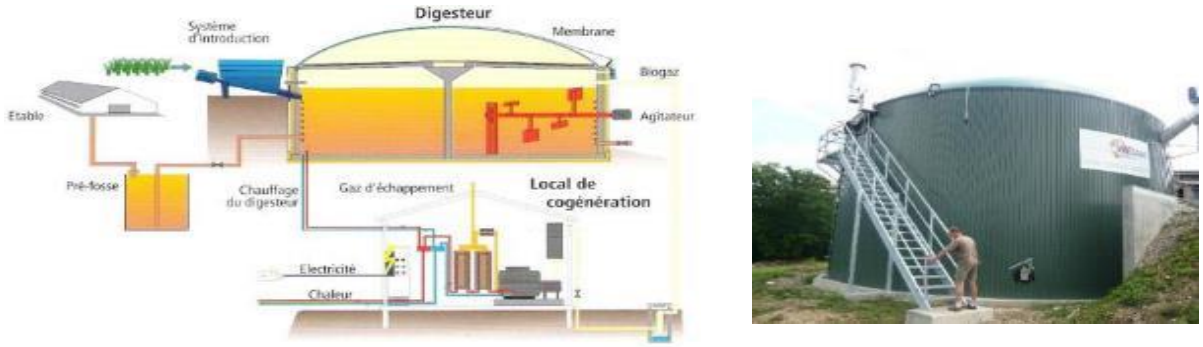


Figure 12: Illustration d'une installation de méthanisation

L'espace nécessaire pour une telle installation est conséquent avec une surface importante puisque celle-ci doit atteindre au minimum 3000 m² au sol (pour une micro-méthanisation) et un raccordement au réseau gaz à proximité ou la création d'un réseau de chaleur.

De plus afin de garantir la rentabilité de la ressource, la méthanisation des déchets n'est envisageable que si, dans un périmètre d'une dizaine de kilomètres autour de la zone d'étude, une densité importante de production de déchets fermentescibles s'y trouve.

Cette solution ne peut être mise en place que dans le cadre d'un projet plus global. Le biogaz produit peut être valorisé de plusieurs manières:

- Épuration et réinjection sur le réseau
- Si la réinjection n'est pas possible, cogénération avec production d'électricité et de chaleur.

Application au projet

Compte tenu de la faible production de déchets au sein du projet, il n'existe pas un potentiel d'effluents méthanisables ou de biodéchets important.

Cependant, dans une démarche écoresponsable, il serait possible de monter un partenariat avec des organismes de collecte de déchets alimentaires méthanisables pour une valorisation énergétique des potentiels effluents au sein d'unité de méthanisation déjà en fonctionnement.

Potentiel de la ressource : Faible

Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système : Non

Pertinence de la solution : Faible

III.5. BOIS ENERGIE

Le bois énergie peut être utilisé en implantant une chaufferie bois spécifique alimentant l'ensemble du site. Cependant, l'espace de stockage pour subvenir aux besoins en période hivernale est conséquent si l'on veut utiliser l'énergie bois à son maximum durant cette période. Les impacts sur le projet concernent notamment la nécessité d'une surface importante pour l'implantation de la chaufferie avec silo (pour stocker le bois).

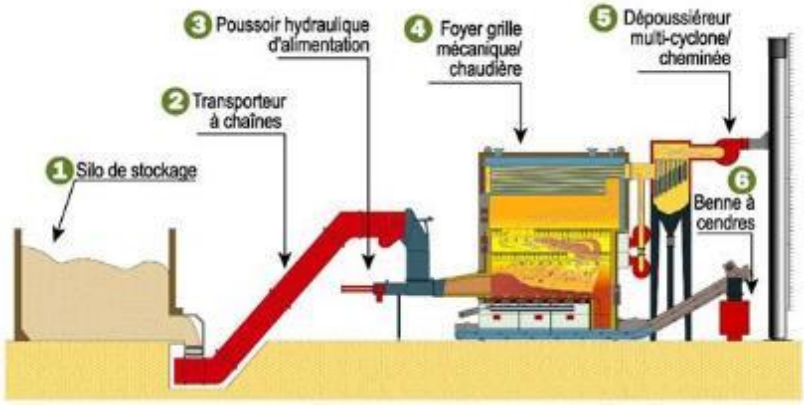


Figure 13 : Schéma de principe bois énergie

III.5.1. CHAUFFERIE PLAQUETTE

Une chaufferie plaquette utilise le combustible bois sous la forme de plaquettes forestières ou bois déchiqueté, fabriqués par simples découpes. La proximité de la ressource sera privilégiée pour ne pas annuler le bénéfice énergétique et environnemental par des coûts de transport.

III.5.2. CHAUFFERIE A GRANULES DE BOIS

La chaufferie à granulés de bois fait appel à un combustible issu du compactage des sous-produits de la transformation du bois (comme la sciure ou les copeaux) qui sont affinés, séchés et ensuite compressés pouvant alimenter chaudière, poêle et insert. Ce type de chaufferie a généralement un intérêt financier pour des puissances inferieures à 500 kW.

III.5.3. COGENERATION BOIS

La cogénération bois permet la production locale d'électricité. Avec un rendement électrique de 30% et un rendement thermique de 55%, ce système assure de bonnes performances. Cependant, les quantités de bois utilisées seront importantes comparativement à une chaufferie bois classique.

Application au projet

Disponibilité de la ressource biomasse sur le bassin d'approvisionnement de la centrale BIOWATTS à Angers :

(Biowatts est un réseau de chaleur du quartier de la Roseraie)

- Surface boisée est de 352 000 ha
- Accroissement naturel : 2.3 millions de tonnes/an
- Prélèvement et usages « concurrents » : 2 millions de tonnes (panneautiers, chaufferies, bois bûche, bois d'œuvre)
- Solde disponible de plaquettes forestières : 300 000 tonnes/an

La ressource en bois à Angers (49) :

La ressource mobilisable en bois bocager déchiqueté sec est de 20 à 25 000 t/an. Idem pour le bois issu des forêts.

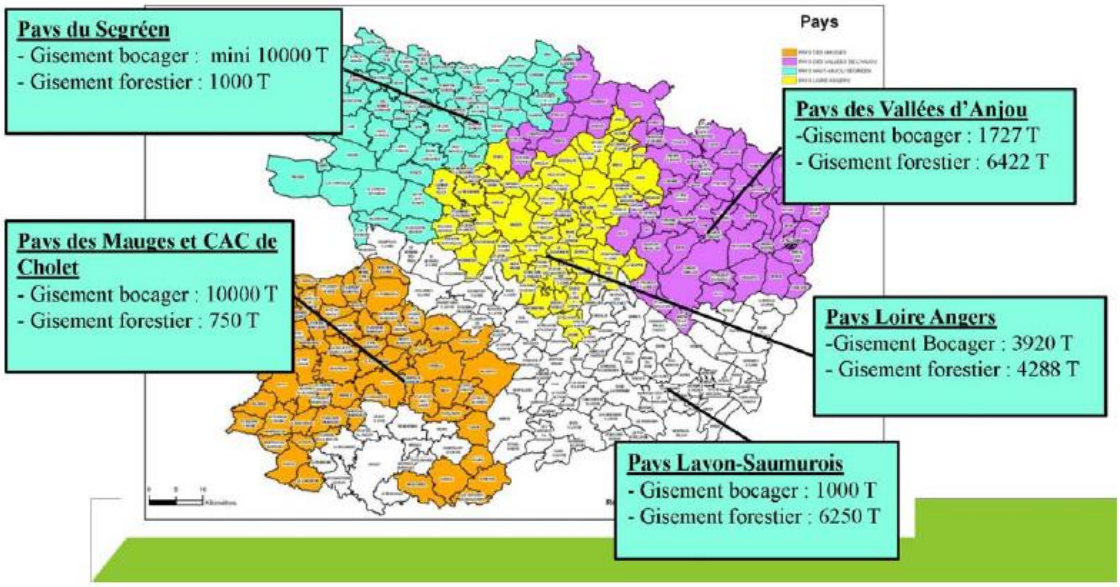


Figure 14 : Gisement forestier dans les pays de la Loire Angers

Les Pays de la Loire compte parmi les régions les moins boisées de France avec 11% du territoire planté alors qu'un tiers de la surface de la France est forestier.

La forêt en Pays de la Loire représente environ 367 000 hectares, appartenant pour 91% d'entre elle à des propriétaires privés.

Malgré un faible boisement dans les Pays de la Loire, une filière bois est très développée.

Les industries du bois sont très développées en Pays de la Loire et génèrent beaucoup d'emplois relativement aux autres régions, réparties sur l'ensemble du territoire, bien que plus concentrées dans le sud de la Loire-Atlantique et le nord de la Vendée.

La filière bois, avec 7 100 établissements et 31 400 salariés, regroupe toutes les activités qui participent directement aux processus de production, d'exploitation, de transformation et de valorisation de la matière première bois.

La conversion des terres agricoles en parcelles forestières tend aujourd'hui à se stabiliser dans la région et la réserve de bois est particulièrement importante et croissante puisque la récolte annuelle n'en prélève que 50% environ.

Les feuillus, le chêne essentiellement, dominent très largement (2/3). Cependant peupliers et résineux constituent l'essentiel de la récolte en Pays de la Loire.

La région dispose ainsi d'un vrai gisement de ressources naturelles qui demande à être mieux exploité à la fois pour la fourniture de bois et pour une régénération plus active des espaces boisés.

La mise en place d'une chaufferie bois dans le projet est favorable. Cependant, la proximité de la ressource sera privilégiée pour ne pas annuler le bénéfice énergétique et environnemental par des coûts de transport.

Par ailleurs, l'impact de cette solution sur le projet est que l'espace nécessaire est difficile à mettre à disposition pour ce genre d'installation. Il pourrait être envisagé d'installer l'équipement en sous-sol avec un point de livraison vers l'extérieur.

Potentiel de la ressource : Fort

Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système : Non potentiel limité au site

Pertinence de la solution : Fort

III.6. RECUPERATION DE CHALEUR

III.6.1. RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES EAUX USEES URBAINES

Les effluents d'eaux usées peuvent être considérés comme des sources potentielles d'énergie, notamment thermique.

D'une température oscillant entre 10 et 20 °C durant toute l'année, les eaux usées recèlent de grandes quantités d'énergie.

- En hiver, elles sont nettement plus chaudes que l'air extérieur et de la chaleur peut en être récupérée.
- En été, l'inverse se produit et le bâtiment peut être rafraîchi. La récupération de la chaleur de ces eaux repose sur une technologie simple, maîtrisée et écologique.

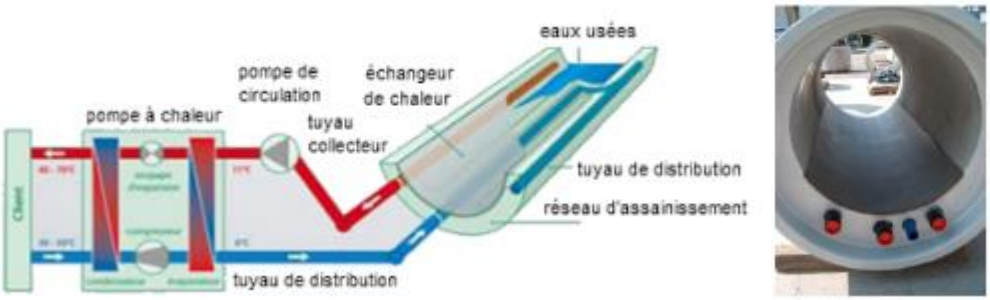


Figure 15 : Schéma de fonctionnement de récupération de chaleur des eaux usées

Grâce à un système d'échange de chaleur intégré dans le collecteur allant à la station d'épuration, de la chaleur peut être récupérée sur les eaux usées. L'échangeur de chaleur refroidit les eaux usées d'environ 1 à 2°C.

L'énergie est transportée par un fluide caloporteur (eau) de l'échangeur vers les pompes à chaleur. Celles-ci vont ensuite :

- Soit augmenter la température pour produire de l'eau chaude permettant une utilisation en chauffage urbain, en chauffage de l'eau chaude sanitaire,
- Soit baisser la température pour produire de l'eau glacée pour le rafraichissement des espaces.

La chaleur, qui en émane, peut être récupérée:

- Soit directement sur les eaux usées brutes circulant dans les canalisations. Les systèmes de récupération sur eaux usées permettent, via un échangeur thermique, de récupérer les calories dans les canalisations d'évacuations d'eaux usées et de les transférer aux bâtiments via une pompe à chaleur.
- Soit sur les eaux traitées par les stations d'épuration.

Lorsqu'il existe une station d'épuration (STEP) à proximité du site, on peut envisager une récupération de chaleur sur :

- Le collecteur d'eaux usées (amont) ;
- Les effluents (aval) ;
- Des bâches de stockage des eaux.

Les échangeurs de chaleur utilisés pour transférer la chaleur des eaux usées sont :

- Soit insérés dans la structure des canalisations
- Soit localisés dans des bâches en dérivation.

Les conditions techniques pour permettre une récupération optimale sont les suivantes :

- **Débit minimal de 15L/s sur le tronçon**
- **Diamètre du tronçon supérieur ou égal à 80 cm (phi 800)**
- **Distance de 300 m entre la récupération et la zone d'utilisation.**

Nota : l'échangeur de chaleur ne doit pas refroidir les eaux usées de plus de 3°C sous peine d'impacter le fonctionnement des processus de la station d'épuration.

Application au projet

La station d'épuration la plus proche de la zone d'étude est située à 6 kilomètres du site. De plus, il ne semble pas avoir une densité importante de collecteurs d'eaux usées à proximité immédiate.

Compte tenu des faibles consommations d'ECS internes de la zone d'activité, une récupération de chaleur n'est pas envisageable.

Potentiel de la ressource : Faible

Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système : Non potentiel limité au bâtiment

Pertinence : Nul

III.6.2. RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES EAUX USEES DU PROJET

Ce type d'équipement est constitué d'un échangeur eau/eau et d'une pompe à chaleur. Il présente un intérêt pour les cas où il existe, sur un même site, rejets et besoins d'eau chaude.

Les eaux usées sont filtrées (graisses et résidus) puis stockées dans une cuve isolée à 30°C. Les eaux usées passent dans la PAC (Module thermodynamique) à une température moyenne de 30°C et ressortent à 7°C. L'eau provenant d'un ballon de préchauffage passe, via le circuit condenseur de la PAC (module thermodynamique) de 10°C à 58°C pour la production d'eau chaude sanitaire.

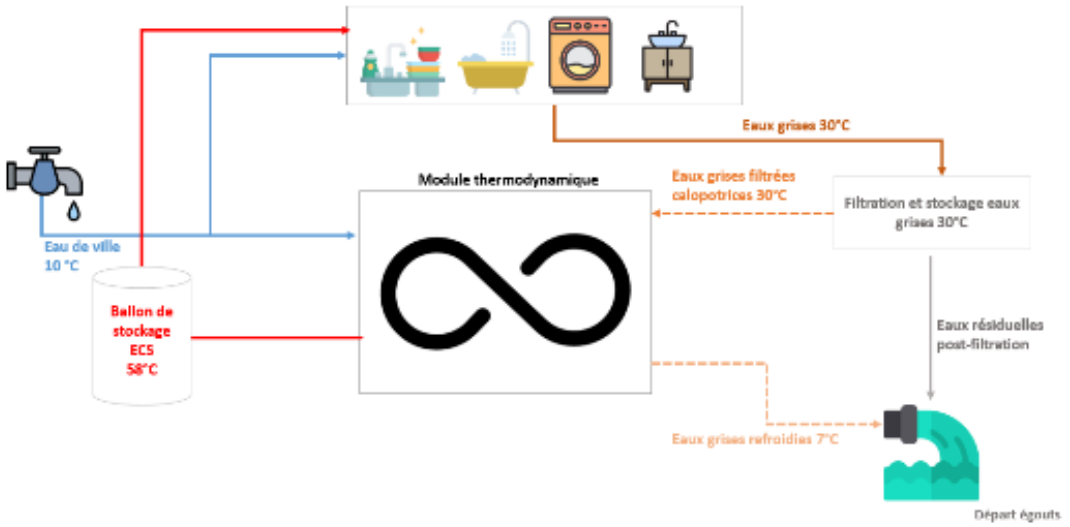


Figure 16 : Schéma principe PAC récupération énergie

Application au projet

Etant donnés les besoins d'eau chaude sanitaire liés à la zone d'activité, il n'est pas envisageable de mettre en œuvre une récupération de chaleur sur les eaux grises à l'échelle du projet car cette solution aura un impact très important sur les investissements pour la production d'ECS et sur le dimensionnement des locaux techniques. Par ailleurs la maintenance des PAC aura un impact fort sur les couts d'exploitation des différents bâtiments. Il ne semble donc pas pertinent de couvrir l'ensemble de ces besoins par cette technologie.

Potentiel de la ressource : Moyenne

Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système : Non potentiel limité au bâtiment

Pertinence : Nul

III.6.3. RECUPERATION DE CHALEUR SUR PROCESS

L'objectif de ce type d'installation est de récupérer de la chaleur sur les process à émission de chaleur excédentaire.

Plusieurs solutions sont envisageables :

- La récupération de chaleur sur la production de froid (locaux commerciaux à proximité)
- La récupération de chaleur sur la production de froid des data center
- La récupération de chaleur sur les process industriels existants ou futurs (si connus)

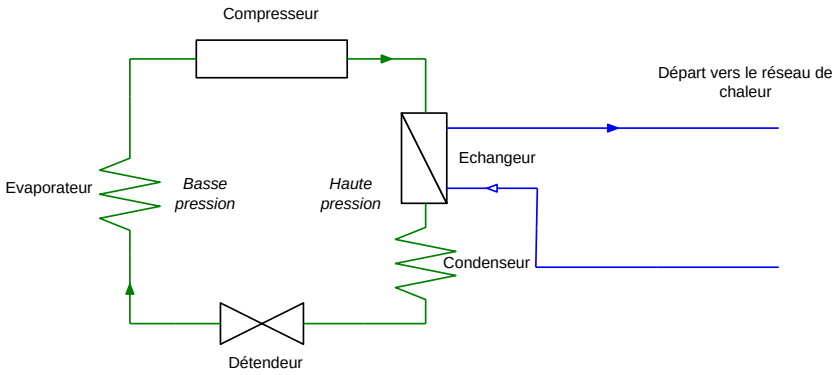


Figure 17 : Schéma de principe récupération sur process

Tous les systèmes de production de froid sont également émetteurs de chaleur. Cette chaleur est généralement dissipée via des aéro-réfrigérants.

Celle-ci peut être récupérée pour alimenter un réseau de chauffage, un stockage d'eau chaude sanitaire, ou pour répondre à toute autre demande spécifique de chaleur.

Techniquement, la mise en œuvre de cette récupération touche à la conception du circuit hydraulique. Elle est de préférence prévue à la conception de l'installation, mais une installation existante peut également, sous certaines conditions, s'équiper d'un tel système.

Application au projet :

- **DATACENTERS**

Au sein de la zone d'activité de Saint Serge Faubourg :

Les éventuels projets de nouveaux datacenters ne sont pas identifiés, par conséquent le potentiel de récupération ne peut pas être encore envisagé.

Dans le cas où un projet de data center serait envisagé, la mise en œuvre d'une récupération dépendra :

- De la surface des datacenters
- De sa localisation
- Du régime de température des terminaux du bâtiment
- De la simultanéité des besoins et des productions.

Nota : Un exemple en fonctionnement à l'adresse suivante http://www.enerzine.com/1037/14854+une-pepiniere-dentreprises-recupere-lenergie-dun-centre-de-donnees+.html.

A proximité du projet

Actuellement, il n'existe pas de Datacenter autour de la zone étudiée. Dans le cas où un futur Datacenter serait envisagé, le point de récupération doit être à une distance inférieure à 300 m sinon cette solution n'est pas pertinente.

Potentiel de la ressource : Nul

Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système : Non

Pertinence de la solution : Faible

III.6.4. RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHAUD URBAIN EXISTANT

Les réseaux de chaleur sont des installations distribuant à plusieurs utilisateurs clients de la chaleur produite par une ou plusieurs chaufferies via un ensemble de canalisations de transport de chaleur. Ces installations ont la plupart du temps recours aux énergies renouvelables par exemple la biomasse, la géothermie. Les énergies de récupération doivent être valorisées en priorité pour alimenter les réseaux de chaleur.

La ville d'Angers compte plusieurs réseaux de chaleur au bois. Il existe 3 réseaux de chaleur dont la puissance est importante.

Un réseau de chaleur collectif de la Roseraie au Sud d'Angers qui est alimenté par une chaufferie biomasse BIOWATT de 22 MW construite en 2011, un réseau de chaleur au bois du quartier Belle Bielle à Ouest d'Angers de 8 MW construit en 2017 et un réseau de chaleur Monplaisir composé à 70% d'ENR biomasse d'une puissance de 15MW mis en place à partir d'octobre 2021.

D'autre part, dans le cadre du schéma directeur pour le développement des réseaux de chaleur à l'échelle de la Ville d'Angers, une étude de pertinence de raccordement sera réalisée sur le secteur Saint Serge Ney Chalouère afin d'étudier le raccordement de ce quartier au réseau de chaleur de Monplaisir.

Le réseau de chaleur de Monplaisir est alimenté par une chaudière bois de 4 MW et une chaudière gaz à condensation de 11 MW en appoint et secours. Ce réseau de chaleur permet d'alimenter en chauffage et en eau chaude sanitaire 2800 logements du quartier ainsi que l'ensemble des équipements (écoles, piscine, gymnase...) et l'entreprise Scania.

Au-delà de ses performances environnementales, cette installation favorisera les circuits courts d'approvisionnement en bois (près de 9000 tonnes par an) pour ne pas annuler le bénéfice énergétique et environnemental par des coûts de transport.

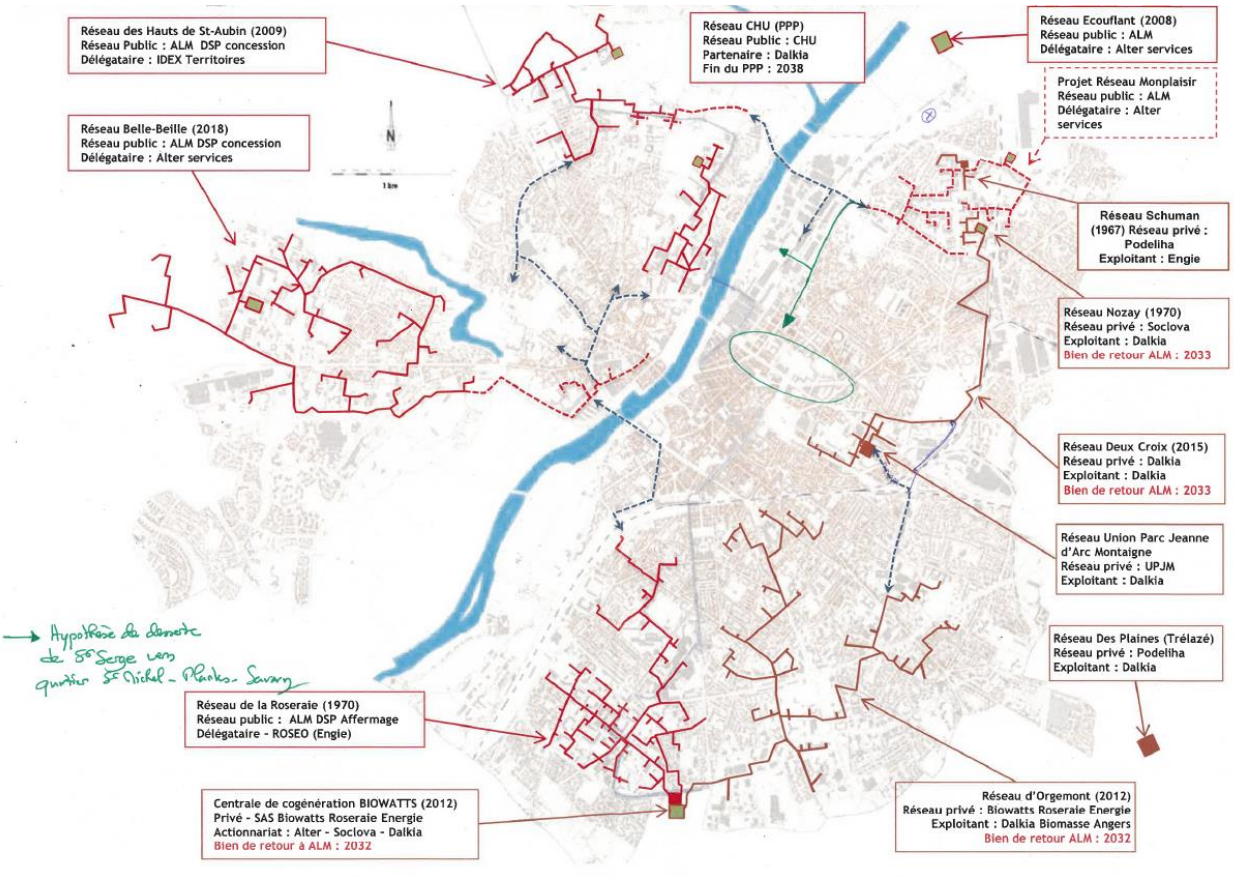


Figure 18 : Réseaux de chaleur d'ALM

Application au projet :

Le raccordement aux réseaux de chaleur de la Roseraie et la Belle Bielle n'est pas pertinent car la zone d'activité Saint Serge Faubourg est trop éloignée (environ 6 à 7 km).

Cependant, le raccordement de la zone d'activité de Saint Serge Faubourg Actif au réseau de chaleur de Monplaisir permettra d'éviter la création de moyens de production de chaleur propre au bâtiment et de réduire d'une manière importante l'impact CO2 des bâtiments.

Potentiel de la ressource : Fort

Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système : Sans objet

Pertinence de la solution : Forte techniquement

III.7. GEOTHERMIE

La géothermie très basse énergie permet généralement le chauffage, le rafraîchissement de locaux ou, dans certains cas, la production d'eau chaude sanitaire.

Plusieurs solutions d'utilisation de la géothermie sont possibles :

- Si la présence d'une nappe exploitable est confirmée par un forage de reconnaissance : puisage et pompe à chaleur tirant parti de la température stable de l'aquifère,
- Dans tous les cas : pompe à chaleur et sondes géothermiques disposées en nappe horizontale dans des tranchées, ou sous forme de pieux verticaux.

III.7.1. GEOTHERMIE SUR NAPPE

Le développement de la géothermie pourra s'appuyer sur les potentiels des nombreuses nappes de la région. La géothermie sur nappe bénéficie aujourd'hui d'un fort retour d'expérience aussi bien pour des opérations de surface que plus profondes.

Son principe consiste à prélever des calories (ou des frigories) dans la nappe qui présente une température assez stable toute l'année pour la transférer, via une pompe à chaleur, vers un circuit de chauffage (ou de climatisation), moyennant une faible dépense d'énergie.

Pour cela, on utilise un doublet géothermique composé :

- D'un puits de pompage de l'eau, qui permet d'alimenter le circuit et de fournir, selon la saison, des calories (en hiver) ou des frigories (en été), la nappe restant sensiblement à la même température toute l'année ;
- D'un forage de réinjection, qui permet de restituer l'eau dans sa nappe d'origine, avec le même débit que le pompage mais à une température différente (plus basse en hiver et plus élevée en été)

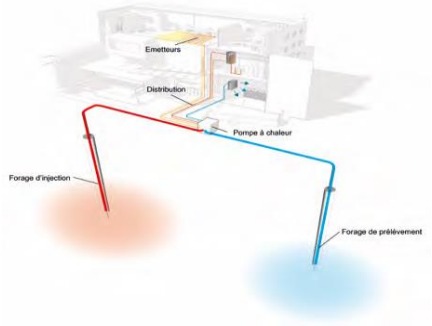


Figure 19: Schéma d'un système de géothermie sur aquifère

Malgré les ressources, pour les utiliser, il est très souvent nécessaire de rehausser son niveau de température. Des équipements de type PAC et des émetteurs de chaleur adaptés sont alors mis en place.

- En hiver la pompe à chaleur permet d'extraire les calories de la ressource et d'augmenter la température récupérée.
- En été, le système est réversible. La PAC permet d'extraire les calories des locaux et de les transmettre dans la nappe.

La performance globale de la pompe à chaleur sera meilleure si le milieu où elle puise l'énergie est à une température la plus constante et la plus élevée possible au cours de l'année et si la température de distribution de chauffage est basse.

Leur utilisation est ainsi conseillée pour des bâtiments neufs qui peuvent être équipés avec ce type de système.

Thermofrigopompe

En alternative à une PAC (pompe à chaleur) classique, sur les bâtiments à besoin de chaleur et de froid simultanés, une thermofrigopompe pourra être envisagée.

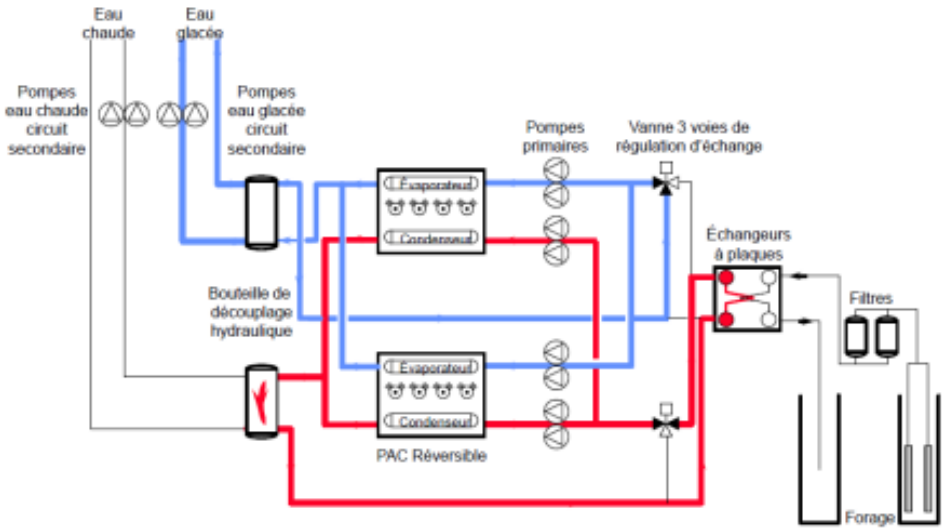


Figure 20 : Schéma de principe thermofrigopompe sur nappe (mode froid)

En règle générale, la température naturelle des terrains superficiels (< 100 m), et donc des nappes qu'ils peuvent abriter, correspond à la moyenne des températures de l'air prise sur quelques cycles annuels. Ces températures fluctuent de quelques degrés sur l'année et c'est cette stabilité thermique « du gisement » qui présente un intérêt particulier pour la géothermie.

Application au projet

La région des Pays de la Loire se caractérise par :

- Un massif cristallin (formation dite de "socle") correspondant au massif armoricain, pour les départements de la Loire-Atlantique, la Mayenne, le nord et le centre de la Vendée, ainsi que l'ouest du Maine et Loire,
- De bassins sédimentaires peu profonds, pour le sud de la Vendée, l'est du Maine et Loire et la Sarthe.

La carte qui suit représente le contexte géologique des Pays de la Loire (carte produite par le BRGM) :

Figure 21 : Carte des zones potentielles pour la géothermie dans les Pays de la Loire (BRGM)

Le contexte géologique des Pays de la Loire est globalement moins favorable que d'autres régions. Cela s'explique par une absence d'aquifère profond d'extension importante permettant un puisage direct de l'eau chaude et par absence de gradient thermique important. Ainsi la valorisation de la ressource géothermique est cantonnée à une exploitation dite "basse énergie : prélèvement des calories dans des aquifères peu profonds ou dans le sol et utilisation d'une pompe à chaleur afin de rehausser la température extraite.

D'après la cartographie, le projet est situé dans la zone des terrains alluvions.

Les alluvions des cours d'eau, sont de nature variée mais généralement sableux et/ou graveleuses contenant des ressources en eau facile à exploiter. Dans cette zone les cours d'eau sont de faible importance, aussi les alluvions sont souvent peu étendues et peu épaisses ce qui limite la quantité qu'elles peuvent contenir.

Etant donné que le gisement géothermique dans la zone étudiée est limité, cette solution n'est donc pas envisageable.

Potentiel de la ressource : limité

Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système : Non potentiel limité au bâtiment

Pertinence de la solution : Faible

III.7.2. GEOTHERMIE SUR PIEUX

La géothermie sur champ de sondes consiste à faire circuler, en circuit fermé, un liquide caloporteur dans plusieurs sondes verticales.

Ce champ est constitué d'un réseau de tubes, disposés à la verticale dans des forages, qui échange l'énergie (par simple transfert de chaleur) et l'achemine jusqu'à la pompe à chaleur.

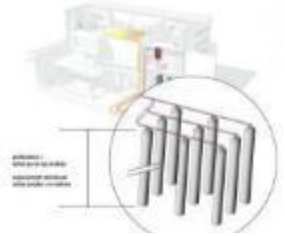


Figure 22 : Géothermie sur pieux (Source : BRGM)

Étant donné que la ressource est à une température inférieure à 30°C, celle-ci ne permet pas, dans la plupart des cas, une utilisation directe de la chaleur par simple échange. Elle nécessite donc la mise en œuvre de pompes à chaleur qui prélèvent cette énergie à basse température dans le sous-sol pour l'augmenter à une température suffisante.

Une profondeur de 100 m est suffisante pour s'affranchir des variations de température journalières et saisonnières où règne une température constante d'une quinzaine de degrés. Ce type de sonde correspond à une puissance géothermique de l'ordre de 5 kW.

Pour éviter un investissement et un nombre de sondes trop important, on associe généralement ce système à une énergie d'appoint.

Application au projet

Le potentiel énergétique d'un champ de sondes dépend de la variabilité des terrains et de leur conductivité thermique qui va influencer le nombre et la profondeur des sondes. Le test réponse thermique permet alors de les vérifier sur site et d'ajuster la profondeur ou le nombre de sondes pour couvrir les besoins.

Il faut donc obligatoirement réaliser un diagnostic géotechnique par un bureau d'études géotechnique pour confirmer si le recours à cette source d'énergie est possible.

Ce type d'installation est envisageable à l'échelle d'un bâtiment mais pas à l'échelle de la ZA.

Potentiel de la ressource : Moyen

Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système : Non potentiel limité au bâtiment

Pertinence de la solution : Moyen

IV. SYNTHESES DES PISTES ÉNERGETIQUES

Le tableau suivant présente la synthèse des résultats de l'évaluation du potentiel EnR. La pertinence de chacune des énergies a été évaluée en fonction des ressources disponibles et des besoins du bâtiment.

	Energie	Pertinence	Remarques
Solaire	Thermique	Fort	Localement important avec des surfaces disponibles
	Photovoltaïque	Fort	Surfaces disponibles avec un taux de couverture des besoins annuels d'électricités à 30 %
Eolien	Grande et moyenne éolienne	Faible	Contrainte à l'implantation locale des éoliennes
	Petite éolienne	Faible	La rentabilité de ce type d'installation est faible voire nulle.
Hydraulique	Hydro-électrique	Nul	Le projet est à proximité directe de la Maine mais il n'est pas possible de l'utiliser pour une production d'énergie hydraulique car ce cours d'eau est classé en liste 1 au titre de l'article L. 214-17 du code de l'environnement
	Micro-hydrolienne	Nul	La STEP n'est pas dans le périmètre de la zone étudiée
Biomasse	Chaufferie plaquettes bois	Fort	La filière bois est très développée dans la région.
	Chaufferie granulés de bois	Fort	
	Méthanisation	Faible	Production limitée des déchets méthanisables au sein de la ZA
Récupération de chaleur	Eaux usées urbaines	Nul	La récupération de chaleur n'est pas envisageable au regard des niveaux des consommations à l'échelle du projet.
	Eaux usées du bâtiment	Nul	Impact très important sur les investissements pour la production d'ECS
	Datacenters	Nul	Il n'existe pas de Datacenter à proximité
	Réseaux de chaleur	Fort	Il existe un réseau de chaleur potentiel
Géothermie	Sur nappe	Nul	Zone défavorable pour la géothermie très basse énergie
	Sur pieux	Faible	Un diagnostic géotechnique doit être réaliser pour définir le potentiel exact de cette source d'énergie

Au regard des opportunités disponibles localement, les scenarios étudiés seront les suivants :

Scenarios	Chauffage + ECS	Froid	Electricité
Scenario de référence	Chaufferie gaz	SO	Raccordement au réseau électrique
Scenario 1	Chaufferie gaz	SO	Panneau photovoltaïque + Solaire thermique + Raccordement au Réseau électrique
Scenario 2	Chaufferie bois + Appoint gaz	SO	Panneau photovoltaïque + Raccordement au Réseau électrique
Scenario 3	Raccordement au réseau de chaleur Monplaisir	SO	Panneau photovoltaïque + Raccordement au Réseau électrique

V. ETUDE DES SOLUTIONS TECHNIQUES

V.1. CHAUFFERIE GAZ A CONDENSATION : SOLUTION DE REFERENCE

Description générale

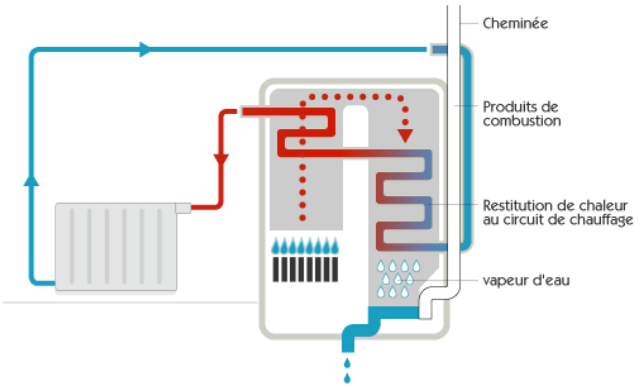
Cette solution a pour objectif de servir de référence pour la comparaison des coûts de chaque solution étudiée dans le cadre de cette étude ENR.

Equipements – Chauffage et ECS

Concernant les équipements de production de chaleur il a été supposé qu'une chaufferie gaz sera dimensionnée pour approvisionner l'ensemble du site qui couvrira l'ensemble des besoins de chaleur et d'ECS.

Trois chaudières d'une puissance unitaire de **1 650 MWh** et seront installées dans des locaux techniques spécifiques.

Les chaudières installées seront des chaudières à condensation qui pourront alimenter selon le cas : des ventilo-convecteurs, des radiateurs à eau chaude, des batteries chaudes de CTA, des aérothermes à eau chaude….



La puissance totale installée sur les bâtiments de la ZA est d'environ **4 950 kW thermique pour couvrir 3 606 MWh (**chauffage + ECS). Ces hypothèses ne sont pas des dimensionnements techniques précis mais permettent d'évaluer le nombre de systèmes de production à installer.

L'investissement est calculé à l'échelle du projet :

	Description	Coûts	Unité
Investissement	Chaudières à gaz	709 260	€ HT
	Maitrise d'œuvre		
Coûts énergétiques annuels chaud – P1	Electriques (pompes)	3 568	€ HT /an
	Gaz	621 130	€ HT /an
Coûts annuels de maintenance P2	Entretien courant	5 280	€ HT /an
Coûts annuels de maintenance P3	GER	70 670	€ HT /an
Coût global annuel P1 + P2 + P3		700 648	€ HT /an

V.2. CHAUFFERIE GAZ + PHOTOVOLTAIQUE + SOLAIRE THERMIQUE - SCENARIO 1

Installation des panneaux photovoltaïques :

L'implantation de panneaux photovoltaïques est envisageable en toiture afin de réduire les consommations électriques des bâtiments.

En effet, dans la ZA, il y a **70 447 m²** de surfaces de toiture. L'hypothèse de 50% de la surface de toiture disponible a été prise pour mettre en place les panneaux photovoltaïques et solaires thermiques soit **35 224 m²**.

Nous pouvons donc mettre en place une installation de panneaux photovoltaïques d'une surface de **18 925 m²** de **1 720 kWc** avec une production annuelle de **1 760 MWh** qui couvre **30%** des besoins électriques conventionnelles des bâtiments de la zone d'activité Saint Serge Faubourg.

Il a été considéré une autoconsommation de l'électricité produite.

Ci-dessous un tableau qui présentant le nombre des panneaux photovoltaïque et la puissance installée par zone:

Investissement :

Les investissements prennent en compte la production solaire photovoltaïque ainsi que le raccordement au réseau électrique.

	Surface panneaux (m²)	Puissance de l'installation (kWc)	Coût achat et installation (€ HT)	Dépenses annuelles de maintenance (P2/P3) (€ HT)	Dépenses globales investissements et maintenance sur 20 ans (€ HT)
Solaire Photovoltaïque	18 925	1 720	2 752 000	86 000	2 838 000

Temps de retour sur investissement :

Le temps de retour sur investissement est calculé par rapport aux tarifs des fournisseurs d'électricité et les besoins d'éclairages et des auxiliaires de ventilation de la ZA en considérant une autoconsommation de l'énergie produite.

	Besoins électrique MWh	Prodution en MWh	Taux de couverture des besoins d'éclairage (%)
Solaire Photovoltaïque	5 866	1 760	**30%**

	Coût du MWh électrique (€ HT/MWh)	Gain annuel (€ HT)	Retour sur Investissement brut
Solaire Photovoltaïque	160	281 590	10 ans

Installation des panneaux solaires thermiques :

La mise en place de panneaux solaires thermiques est envisageable sur la toiture compte tenu de la surface disponible et des besoins en ECS des bâtiments (557 MWhef).
Pour couvrir **40%** des besoins d'ECS de la ZA, nous pouvons mettre en place une installation de solaire thermique de 400 m² avec un rendement de 90% pour produire **223 MWh**.
Le reste des besoins soit **334 MWh** sera assuré par la chaudière gaz à condensation.

Investissement :

L'investissement inclut le coût d'achat et d'installation des panneaux solaires thermiques :

	Surface panneaux (m²)	Coût achat et installation par m² (€ HT)	Coût achat et installation global (€ HT)	Dépenses annuelles de maintenance (P2/P3) (€ HT)	Dépenses globales investissements et maintenance sur 20 ans (€ HT)
Solaire thermique	400	1 200	480 000	40 000	520 000

	Coût du MWh gaz (€ HT/MWh)	Gain annuel (€ HT)	Retour sur Investissement brut
Solaire thermique	70	15 585	33 ans

Les investissements ci-dessous prennent en compte la production de chaleur par des chaudières gaz à condensation, la production solaire photovoltaïque et la production solaire thermique :

	Description	Coûts	Unité
Investissement	Chaudières gaz	709 260	€ HT
	Maitrise d'œuvre		
	Panneaux photovoltaïques	2 838 000	€ HT
	Solaire thermique	520 000	€ HT
Coûts énergétiques annuels chaud – P1	Electriques (pompes)	3568	€ HT /an
	Gaz	621 130	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance P2	Entretien courant	5 280	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance P3	GER	70670	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance (P2/P3) (photovoltaïque)	Panneaux photovoltaïques	86 000	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance (P2/P3) (solaire thermique)	Solaire thermique	40 000	€ HT /an
Coût global annuel P1 + P2 + P3		826 648	€ HT /an

V.3. CHAUFFERIE BOIS + PHOTOVOLTAIQUE - SCENARIO 2

Compte tenu des puissances appelées et du potentiel local, la mise en place d'**une chaufferie bois énergie plaquette** est envisageable à l'échelle du projet.

La proximité de la ressource sera privilégiée pour ne pas annuler le bénéfice énergétique et environnemental par des coûts de transport. Le combustible bois nécessite un espace de stockage non négligeable.

Rappel des consommations de chauffage et ECS de l'ensemble du site :

	Consommations chauffage MWh/an	Consommations ECS MWh/an
Total	3 049	557
	3 606	

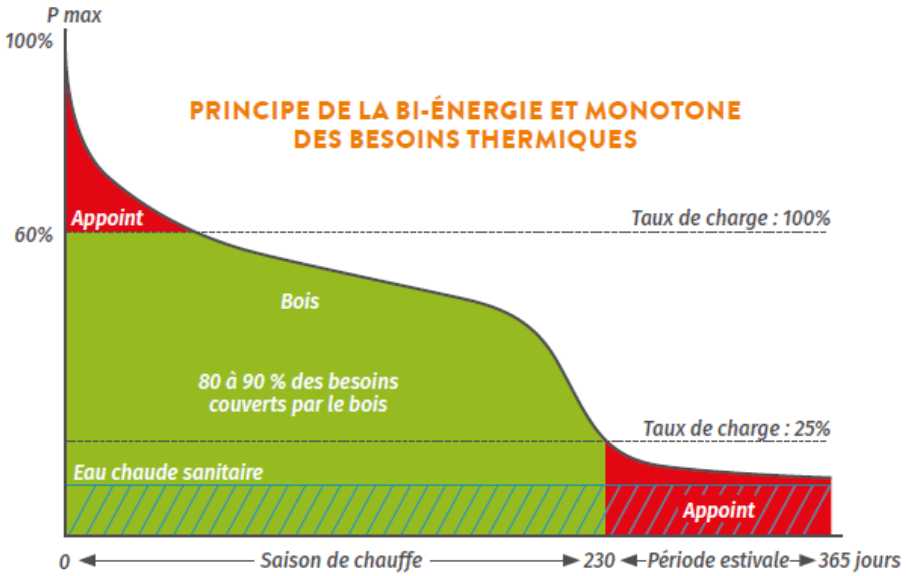
Dimensionnement technique :

La chaufferie sera dimensionnée pour approvisionner l'ensemble du site.

Afin d'obtenir des rendements performants entre 80% et 90%, chaque chaudière doit avoir un taux de charge d'au moins 25 % de sa puissance nominale. Pour cette raison et pour pallier aux opérations d'entretien récurrentes, il est fortement recommandé de mettre en place une chaudière d'appoint ou de secours fonctionnant avec une autre énergie comme le gaz.

La courbe monotone ci-dessous représente la répartition des appels de puissance sur une année. Généralement, un dimensionnement de la chaudière bois aux alentours de 60 % de la puissance thermique maximum permet de couvrir 80% à 90% des besoins annuels.

L'appoint sera réalisé par des chaudières gaz à condensation et assurera la couverture des besoins complémentaires.



Le dimensionnement ci-dessous est calculé en fonction des activités exercées dans les bâtiments de la ZA Saint Serge Faubourg:

Chaudière bois plaquettes :

Puissance chaudière bois	**3 290**	**kW**
Taux de couverture des besoins	**80%**	**% des besoins thermiques**
Energie produite par an	**2 885**	**MWh d'énergie finale / an**

Chaudière à gaz :

Puissance chaudière gaz	**820**	**kW**
Taux de couverture des besoins	**20%**	**% des besoins thermiques**
Energie produite par an	**721**	**MWh d'énergie finale / an**

Investissements :

Les investissements prennent en compte la production de la chaufferie biomasse, l'appoint gaz et l'installation des panneaux photovoltaïques, ils sont calculés à l'échelle du projet :

	Description	Coûts	Unité
Investissement	Chaufferie bois, appoint gaz	2 011 460	€ HT
	Maitrise d'œuvre		
	Implantation de réseau		
	Panneaux photovoltaïques	2 838 000	€ HT
Coûts énergétiques annuels chaud – P1	Electriques (pompes et auxiliaires)	3 568	€ HT /an
	bois	154 412	€ HT /an
	Gaz	124 191	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance P2	Entretien courant	18 774	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance P3	GER	55 677	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance (P2/P3) (photovoltaïque)	Panneaux photovoltaïques	86 000	€ HT /an
Coût global annuel P1 + P2 + P3		442 622	€ HT /an
Taux de couverture ENR production de chaleur		80	%
Taux de couverture ENR production d'électricité		30	%

V.4. RACCORDEMENT AU RESEAU DE CHALEUR + PHOTOVOLTAIQUE - SCENARIO 3

Le scénario 3 permettra de se raccorder sur le réseau de chaleur de Monplaisir et mettre en place des panneaux photovoltaïque pour couvrir 30% des besoins électriques.

D'après la SEREM, les caractéristiques du réseau de chaleur Monplaisir sont :

- Puissance en chaufferie : 15 MW dont 4 bois en base et 11 en gaz appoint & secours
- Mix énergétique : 70 % biomasse
- Tonnes CO2 évitées : 5749 tonnes par an

Les dépenses énergétiques annuelles à l'échelle de Saint Serge Faubourg :

Réseau de chaleur	Coût (€ HT/MWh)	Consommation en MWh	R1 CPCU ECS et chauffage (€ HT)	Dépenses annuelles Energie ECS et chauffage (€ HT)
R1 proportionnel à la consommation d'énergie	70	3 606	252 420	291 590
Réseau de chaleur	**Coût (€ HT/kW)**	**Puissance en kW**	**R2 CPCU ECS et chauffage (€ HT)**	
R2 proportionnel à la souscription de puissance	30	4 950	148 500	

Investissements à l'échelle de Saint Serge Faubourg :

Les investissements prennent en compte la production de chaleur par le réseau de chaleur et l'installation des panneaux photovoltaïques, ils sont calculés à l'échelle du projet :

	Description	Coûts	Unité
Investissement	Raccordement au réseau de chaleur	1 043 496	€ HT
	Maitrise d'œuvre		
	Panneaux photovoltaïques	2 838 000	€ HT
Coûts énergétiques annuels chaud – P1	R1 proportionnel à la consommation d'énergie	252 420	€ HT/an
	R2 proportionnel à la souscription de puissance	148 500	€ HT/an
	Electricité	3 568	€ HT/an
Dépenses annuelles de maintenance P2	Entretien courant	2 000	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance P3	GER	40 335	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance (P2/P3) (photovoltaïque)	Panneaux photovoltaïques	86 000	€ HT /an
Coût global annuel P1 + P2 + P3		532 823	€ HT /an
Taux de couverture ENR production de chaleur		80	%
Taux de couverture ENR production d'électricité		30	%

VI. SYNTHESE DES DIFFERENTS SCENARIOS

Dans cette partie, nous allons présenter un récapitulatif des investissements des 2 scénarios présentant les meilleurs bilans. Cette synthèse comporte uniquement le chiffrage financier, pour avoir plus de détails sur le chiffrage, le dimensionnement et les caractéristiques de chaque source d'énergie, il faut consulter les paragraphes concernés ci-dessous.

Les investissements et les coûts de maintenance (P1/P2/P3) sont calculés sur une période de 20 ans pour la production de chaleur et d'électricité.

SCENARIO 1 : CHAUFFERIE GAZ, PHOTOVOLTAIQUE ET SOLAIRE THERMIQUE

Dans le cadre de ce scenario, les besoins thermiques du bâtiment seront assurés par une chaufferies gaz.

Compte tenu du périmètre de cette étude, nous avons étudié la possibilité de mettre en place du photovoltaïque et du solaire thermique en toiture.

SCENARIO 1	Chaudière à gaz	Photovoltaïque	Solaire thermique	Raccordement électrique
Investissements (€ HT)	709 260	2 838 000	520 000	657 040
Total (€ HT)	4 724 300			

SCENARIO 2 : CHAUFFERIE BOIS, APPOINT CHAUDIERE A GAZ ET PHOTOVOLTAIQUE

Dans le cadre de ce scenario, 80% des besoins thermiques du bâtiment seront assurés par une chaufferies bois et 20% des besoins thermiques seront assurés par une chaudière à gaz.

Compte tenu du périmètre de cette étude, nous avons uniquement étudié la possibilité de mettre en place du photovoltaïque en toiture.

SCENARIO 2	Chaudière bois à plaquettes + Appoint : Chaudière à gaz	Photovoltaïque	Raccordement électrique
Investissements (€ HT)	2 011 460	2 838 000	657 040
Total (€ HT)	5 506 500		

SCENARIO 2 : RACCORDEMENT AU RESEAU DE CHALEUR ET PHOTOVOLTAIQUE

Dans le cadre de ce scenario, les besoins thermiques des bâtiments seront assurés par le réseau de chaleur Monplaisir et 30% des besoins électriques seront assurés par les panneaux photovoltaïques.

SCENARIO 2	Raccordement au réseau de chaleur	Photovoltaïque	Raccordement électrique
Investissements (€ HT)	1 043 496	2 838 000	657 040
Total (€ HT)	4 538 536		

Le bilan comparatif entre l'ensemble des scénarios est le suivant :

		Scenario ref	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Unité
Investissement		**709 260**	**4 067 260**	**4 849 460**	**3 881 496**	€ HT
Coûts énergétiques annuels chaud – P1	gaz	621 130	621 130	124 191	0	€ HT /an
	Bois	0	0	154 412	0	€ HT /an
	Electricité	3 568	3 568	3 568	3 568	€ HT /an
	R1 proportionnel à la consommation d'énergie (raccordement au réseau)	0	0	0	252 420	€ HT /an
	R2 proportionnel à la souscription de puissance (raccordement au réseau)	0	0	0	148 500	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance P2	Entretien courant + électricité réseau	5 280	5 280	18 774	2 000	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance P3	GER	70 670	70 670	55 677	40 335	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance (P2/P3) (photovoltaïque)	Panneaux photovoltaïque	0	86 000	86 000	86 000	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance (P2/P3) (solaire thermique)	Solaire thermique	0	40 000	0	0	€ HT /an
Coût global annuel P1 + P2 + P3		**700 648**	**826 648**	**442 622**	**532 823**	€ HT /an
Taux de couverture ENR production de chaleur		0	0	**80**	**70**	%
Taux de couverture ENR (photovoltaïque)		0	**30**	**30**	**30**	%
Taux de couverture ENR (solaire thermique)		0	**40**	0	**0**	%

VII. CONCLUSION

À partir de l'ensemble des investigations réalisées sur le périmètre et le programme énergétique du projet, il en a été conclu que les solutions les plus pertinentes, pour la zone d'activité Saint Serge Faubourg sont :

- **Scénario 2 :** chaufferie bois, appoint gaz et panneaux photovoltaïques avec autoconsommation et la revente de l'excédent de l'électricité produite.
- **Scénario 3 :** raccordement au réseau de chaleur Monplaisir et panneaux photovoltaïques avec autoconsommation et la revente de l'excédent de l'électricité produite.

La revente de l'excédent de l'électricité produite par l'installation des panneaux photovoltaïques nécessite la création d'un contrat d'obligation d'achat.

Cette solution permet de couvrir une partie des besoins électriques du site par des énergies renouvelables.

Étant donné le potentiel solaire local, le solaire photovoltaïque et le solaire thermique pourront être intégrés de base sur le site sous réserve que :

- Les toitures terrasses soient adaptées
- Il n'y ait pas de problème d'effet de masque sur les bâtiments.

L'étude de ces solutions est cependant basée sur des données macro des besoins du projet. Elles seront approfondies dans le cadre de faisabilités ultérieures, une fois le programme fixé avec précision.