

**ZAC DE LA RUCHERIE
BUSSY-SAINT-GEORGES (77)**

COMPLEMENTS A L'ETUDE D'IMPACT



**ETUDE DE FAISABILITE SUR LE POTENTIEL DE
DEVELOPPEMENT EN ENERGIES RENOUVELABLES**

**PHASE 1
ETAT INITIAL**

JANVIER 2021

AXENNE



MAITRE D'OUVRAGE **EpaMarne - EpaFrance**
5 bd Pierre Carle
CS 60084 – Noisiel
77448 Marne-la-Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 62 4 469

EpaMarne EpaFrance
l'âme dans l'aménagement

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 2021	Rendu initial	M.DUPOIS

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
CONTEXTE	6
1 CONTEXTE REGLEMENTAIRE	6
11 ETUDE DE FAISABILITE ENERGIES RENOUVELABLES ET RESEAUX DE CHALEUR	6
12 REGLEMENTATION THERMIQUE 2012	6
13 LA FUTURE REGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE 2020	7
2 PRISE EN COMPTE DES AMBITIONS NATIONALES ET LOCALES DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES	7
21 AMBITIONS NATIONALES	7
22 AMBITIONS REGIONALES ET DEPARTEMENTALES	8
PRESENTATION DU SITE	9
3 LOCALISATION	9
4 TOPOGRAPHIE	9
5 OCCUPATION DU SOL	9
6 CONTRAINTES NATURELLES ET TECHNOLOGIQUES	9
7 ELEMENTS DE PROGRAMMATION	10
8 BATIMENTS EXISTANTS A PROXIMITE	10
GISEMENT DISPONIBLE EN ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION	11
1 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE THERMIQUE	11
11 ÉNERGIE SOLAIRE	11
12 BIOMASSE COMBUSTIBLE	18
13 GEOTHERMIE	21
14 HYDROTHERMIE	27
15 AEROTHERMIE	31
16 RECUPERATION DE CHALEUR SUR EAUX USEES	32
17 CHALEUR FATALE	39

18	RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT	40
2	FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE	42
21	ÉNERGIE SOLAIRE	42
22	ÉNERGIE EOLIENNE	43
23	HYDROELECTRICITE	46
24	ENERGIES MARINES	46
3	FILIERE DE PRODUCTION DE BIOGAZ	47
31	BIOMASSE METHANISABLE	47
4	RECAPITULATIF DES POTENTIALITES DU TERRITOIRE	49

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 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, l'EPAMarne disposera d'éléments d'aide à la décision pour optimiser le recours aux énergies renouvelables compte tenu des priorités et choix d'aménagement.

La mission proposée s'articule en 2 phases :

- ▶ Un diagnostic du territoire au regard des gisements en énergies renouvelables, des contraintes s'y appliquant, des acteurs en présence, des volontés locales, des caractéristiques du territoire et du projet. Il s'agit de mettre à jour les études déjà réalisées en 2012 et 2014, c'est l'objet de ce premier rapport.
- ▶ La confrontation des potentiels et des besoins énergétiques afin de proposer plusieurs scénarios d'approvisionnement. L'analyse de ces scénarios sur les plans techniques, économiques, environnementaux, sociaux, spatiaux et temporels, organisationnels. Le maître d'ouvrage disposera alors de suffisamment d'éléments pour effectuer un choix éclairé de desserte énergétique sur la ZAC.

CONTEXTE

1 CONTEXTE REGLEMENTAIRE

1.1 ÉTUDE DE FAISABILITE ENERGIES RENOUVELABLES ET RESEAUX DE CHALEUR

L'article L.300-1 du code de l'urbanisme est rédigé comme suit : « Toute action ou opération d'aménagement faisant l'objet d'une évaluation environnementale doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération. Un décret en Conseil d'Etat détermine les modalités de prise en compte des conclusions de cette étude de faisabilité dans l'étude d'impact prévue à l'article L. 122-3 du code de l'environnement ».

Conformément à ces articles, les objectifs d'une étude de potentiel en énergies renouvelables sont multiples :

1. Analyser les potentialités du site pour développer les énergies renouvelables et de récupération,
2. Estimer les besoins énergétiques et les puissances appelées de la zone,
3. En déduire la pertinence d'un réseau de chaleur ou de froid,
4. Formuler des propositions d'approvisionnement en énergie du site, qui soient pertinentes au vu des potentiels du site et des besoins de la zone, à l'échelle des bâtiments ou de la zone.
5. Conformément aux exigences de l'article R122-5 du Code de l'environnement, l'étude d'impact comprend, en outre, les conclusions de l'étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone et une description de la façon dont il en est tenu compte.

1.2 REGLEMENTATION THERMIQUE 2012

La RT 2012 s'applique à :

- Tous les bâtiments de **bureaux, d'enseignement, d'établissement d'accueil de la petite enfance**, faisant l'objet d'une demande de permis de construire ou d'une déclaration préalable à partir du **28 octobre 2011**.
- Tous les **bâtiments à usage d'habitation situés en zone ANRU**, faisant l'objet d'une demande de permis de construire ou d'une déclaration préalable à partir du **28 octobre 2011**.
- Toutes les **maisons** individuelles ou accolées, les **bâtiments collectifs d'habitation** et **foyers jeunes travailleurs** et **cités universitaires**, faisant l'objet d'une demande de permis de construire ou d'une déclaration préalable à partir du **1^{er} janvier 2013**.

Tous les **commerces, restaurations, résidences pour personnes âgées ou dépendantes, hôpital, hôtel, établissement sportif**, faisant l'objet d'une demande de permis de construire ou d'une déclaration préalable à partir du **1^{er} janvier 2013**.

La réglementation thermique 2012 est avant tout une réglementation d'objectifs et comporte :

- 3 exigences de résultats : besoin bioclimatique (indicateur Bbio), consommation d'énergie primaire (indicateur Cep), confort d'été (indicateur Tic).
- Quelques exigences de moyens, limitées au strict nécessaire, pour refléter la volonté affirmée de faire pénétrer significativement une pratique (affichage des consommations par exemple).

13 LA FUTURE REGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE 2020

Suite à l'accord de Paris à l'occasion de la COP 21, l'État et les acteurs de la construction se sont engagés vers une ambition sans précédent pour produire des bâtiments à énergie positive et bas carbone.

Pour atteindre cet objectif, la future réglementation environnementale RE 2020, dont les textes doivent être publiés début 2021, poursuit trois objectifs principaux :

- donner la priorité à la sobriété énergétique et à la décarbonation de l'énergie ;
- diminuer l'impact carbone de la construction des bâtiments ;
- en garantir la fraîcheur en cas de forte chaleur.

Son application sera obligatoire à partir de l'été 2021 pour les logements, les bureaux et l'enseignement et quelques mois plus tard pour les autres bâtiments.

La future réglementation introduit une approche sur le bilan carbone des constructions en intégrant l'ensemble de leur cycle de vie. Cette approche se traduira sur le volet énergie par un seuil maximal d'émission de GES pour la consommation d'énergie (fixé à 4 kgCO₂/m²/an pour les maisons) et pourra évoluer dans le temps (14 kgCO₂/m²/an pour les logements collectifs en 2021 et 6 kgCO₂/m²/an en 2024).

En ce qui concerne la performance thermique du bâtiment, celui-ci doit respecter au minimum le niveau RT 2012. L'exigence sur le besoin énergétique du bâtiment (Bbio) sera réduite de 30%, de manière notamment à favoriser le confort d'été. Un nouvel indicateur de confort d'été sera également ajouté.

Sur le volet production d'électricité renouvelable, seule la part d'électricité autoconsommée devrait être comptabilisée dans le bilan et soustraite de la consommation. D'autre part, la RE2020 introduit un plafond de consommation de consommation d'énergie non renouvelable.

En parallèle de la réglementation, un label d'État sera créé dans la foulée de la RE2020. Ce nouveau label permettra à ceux qui le souhaitent, maîtres d'ouvrage publics ou privés, d'anticiper les futures exigences de la RE2020, de montrer l'exemple et de préfigurer les bâtiments d'après-demain, bâtiments davantage ambitieux sur les plans énergie, carbone, confort d'été et holistique ...

2 PRISE EN COMPTE DES AMBITIONS NATIONALES ET LOCALES DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES

21 AMBITIONS NATIONALES

En cohérence avec ses engagements internationaux et européens, la France mène une politique nationale de lutte contre le changement climatique. Les principaux objectifs de cette politique sont déclinés dans **la loi énergie et climat du 8 novembre 2019 qui vise à répondre à l'urgence écologique et climatique. Elle inscrit cette urgence dans le code de l'énergie ainsi que l'objectif d'une neutralité carbone en 2050, en divisant les émissions de gaz à effet de serre par six au moins d'ici cette date.**

Ses objectifs concernant la sortie progressive des énergies fossiles et le développement des énergies renouvelables sont notamment les suivants :

- la réduction de 40% de la consommation d'énergies fossiles - par rapport à 2012 - d'ici 2030 (contre 30% précédemment dans la loi TepCV) ;
- l'arrêt de la production d'électricité à partir du charbon d'ici 2022 (arrêt des quatre dernières centrales à charbon, accompagnement des salariés des électriciens et de leurs sous-traitants) ;

- l'obligation d'installation de panneaux solaires sur les nouveaux entrepôts, supermarchés et les ombrières de stationnement (toute nouvelle construction devra intégrer au moins 30% de leur surface de toiture en panneaux photovoltaïques ou faire l'objet d'une végétalisation) ;
- la sécurisation du cadre juridique de l'évaluation environnementale des projets afin de faciliter leur aboutissement, notamment pour l'installation du photovoltaïque ou l'utilisation de la géothermie avec pour objectif d'atteindre 33% d'énergies renouvelables dans le mix énergétique d'ici 2030, comme le prévoit la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE).

Cette nouvelle loi met à jour certains objectifs de la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte qui fixait déjà certains nombres d'objectifs, et notamment :

- Multiplier par cinq, à l'horizon 2030, la quantité de chaleur et de froid renouvelables et de récupération livrée par les réseaux de chaleur et de froid
- Diversifier la production d'électricité et baisser la part du nucléaire à 50 % à horizon 2025.

La Stratégie Nationale Bas Carbone et budget carbone (SNBC) définit les grandes lignes des politiques transversales et sectorielles permettant d'atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre sur les moyens et longs termes. La première SNBC et les premiers budgets carbone ont été publiés en novembre 2015 et portent sur la période 2015-2028.

La Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) fixe les priorités d'actions des pouvoirs publics dans le domaine de l'énergie afin d'atteindre les objectifs de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. L'ensemble des piliers de la politique énergétique (maîtrise de la demande d'énergie, énergies renouvelables, sécurité d'approvisionnement, réseaux, etc.) et l'ensemble des énergies sont ainsi traités dans une même stratégie.

22 AMBITIONS REGIONALES ET DEPARTEMENTALES

Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie d'Ile-de-France (SRCAE) a été approuvé en 2012. Il fixe 17 objectifs et 58 orientations stratégiques pour le territoire régional en matière de réduction des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre, d'amélioration de la qualité de l'air, de développement des énergies renouvelables et d'adaptation aux effets du changement climatique. Parmi les priorités identifiées, le SRCAE est axé sur le développement du chauffage urbain alimenté par des énergies renouvelables et de récupération, avec un objectif d'augmentation de 40 % du nombre d'équivalents logements raccordés d'ici 2020.

Le schéma directeur Île-de-France 2030 (SDRIF), élaboré par la Région en association avec l'État, a été approuvé le 27 décembre 2013. Ce schéma rappelle les objectifs issus du SRCAE et conforte l'objectif de développement des réseaux de chaleur et des énergies renouvelables et en particulier le bois et la récupération d'énergie.

La stratégie Régionale Énergie-Climat de la Région Île-de-France a été votée le 3 juillet 2018. Pour 2030, la cible est de diminuer de moitié la dépendance aux énergies fossiles et au nucléaire de l'Île-de-France par rapport à 2015 en agissant sur la réduction des consommations énergétiques et le développement amplifié des énergies renouvelables. Pour 2050, l'objectif est tendre vers une région 100% ENR et zéro carbone grâce à la réduction de 40% de la consommation énergétique régionale et la multiplication par 4 de la quantité d'énergie renouvelable produite sur le territoire francilien.

Le département de la Seine-et-Marne s'est doté d'un Plan climat énergie en 2013. Ce plan climat vise, à travers son plan d'actions, à densifier, étendre et créer des réseaux de chaleur et de froid en privilégiant le recours aux EnR&R, favoriser le développement des EnR intégrées au bâtiment et favoriser le développement d'unités de production d'EnR électrique et de biogaz sur les sites propices et adaptés.

PRESENTATION DU SITE

3 LOCALISATION

La ZAC de la Rucherie, qui s'étend sur environ 79 hectares, est située sur la commune de Bussy-Saint-Georges. Elle est délimitée par l'autoroute A4 au nord et la forêt de Ferrières au sud.



Figure 1 : Vue aérienne du site de la ZAC de la Rucherie

4 TOPOGRAPHIE

L'altitude du site se situe autour de 120 m, le terrain est globalement plat sur la zone de construction.

5 OCCUPATION DU SOL

Le site est constitué de zones cultivées.

6 CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES

NATURELLES

ET

Le site est situé pour sa plus grande partie à l'intérieure du périmètre de protection éloigné du captage AEP de Ferrières-en-Brie.

7 ELEMENTS DE PROGRAMMATION

La programmation initiale prévoyait la réalisation d'un programme d'activités et de services sur une surface totale d'environ 85,4 ha avec une surface de plancher estimée à environ 370 000 m².

Actuellement, une étude urbaine pré-opérationnelle en vue de calibrer la programmation adéquate pour ce site, est en train d'être réalisée par un groupement pluridisciplinaire piloté par le cabinet AMT. Le projet final pourrait intégrer une part de logements.

8 BATIMENTS EXISTANTS A PROXIMITE

Cette partie s'intéresse aux bâtiments existants aux alentours de la zone, ainsi qu'aux projets proches : en effet, ces bâtiments peuvent agir comme levier au développement de réseaux de chaleur, en améliorant la densité thermique et donc la rentabilité de réseaux potentiels.

Ce sont des bâtiments très récents, voire encore en cours de construction. Les équipements de chauffage de ces bâtiments sont neufs (ou déjà choisis pour les bâtiments en cours de construction), le raccordement à un réseau de chaleur situé sur la ZAC ne semble donc pas pertinent.

L'étude des abords du site n'a pas permis d'identifier de bâtiments existants qui pourraient présenter des besoins de chaleur importants et pouvant faire l'objet d'une mutualisation dans le cadre de la création d'un réseau de chaleur sur la ZAC. La majorité des constructions sont des logements individuels ou petits collectifs qui présentent probablement une densité énergétique également insuffisante pour envisager de les raccorder à un réseau de chaleur.

GISEMENT DISPONIBLE EN ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION

1 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE THERMIQUE

1.1 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.

1.1.1 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. Les stations prises en références pour élaborer le climat sur le territoire sont Charles de Gaulle, Villaroche et Paris/Orly.

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 : Bussy-Saint-George				
Altitude : 113 m				
Latitude : 48,82 °				
Longitude : 2,73 °				
MOIS	Ensoleillement à l'horizontale (en Wh/(m ² .j))	Température mini	Température moyenne	Température maxi
Janv	742	2,1	4,7	7,3
Févr	1 204	2,2	5,5	8,7
Mars	2 323	4,2	8,0	11,8
Avr	3 967	6,8	11,0	15,2
Mai	4 516	10,4	14,8	19,1
Juin	5 233	13,4	18,0	22,6
Juil	5 226	14,8	19,5	24,2
Août	4 226	15,1	19,6	24,1
Sept	3 267	11,7	16,1	20,5
Oct	1 935	9,2	12,8	16,4
Nov	1 067	5,3	8,1	10,9
Déc	613	2,1	5,0	7,8
Total annuel : 1047 kWh/(m ² .an)				
Sources : ensoleillement (période 1991 - 2010) / températures (période 2000 - 2009) - Météonorm V7				

Figure 2 : Données mensuelles d'ensoleillement et de température

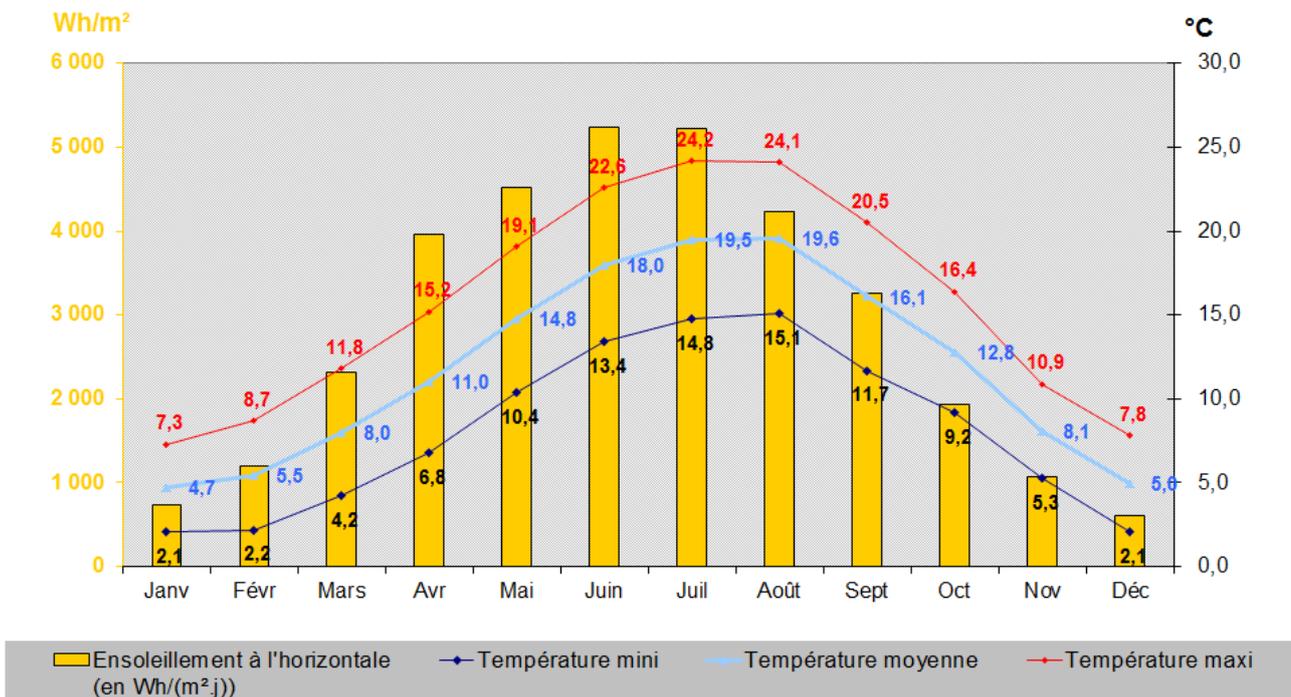


Figure 3 : Courbes mensuelles d'ensoleillement et de température à Bussy-Saint-George

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.

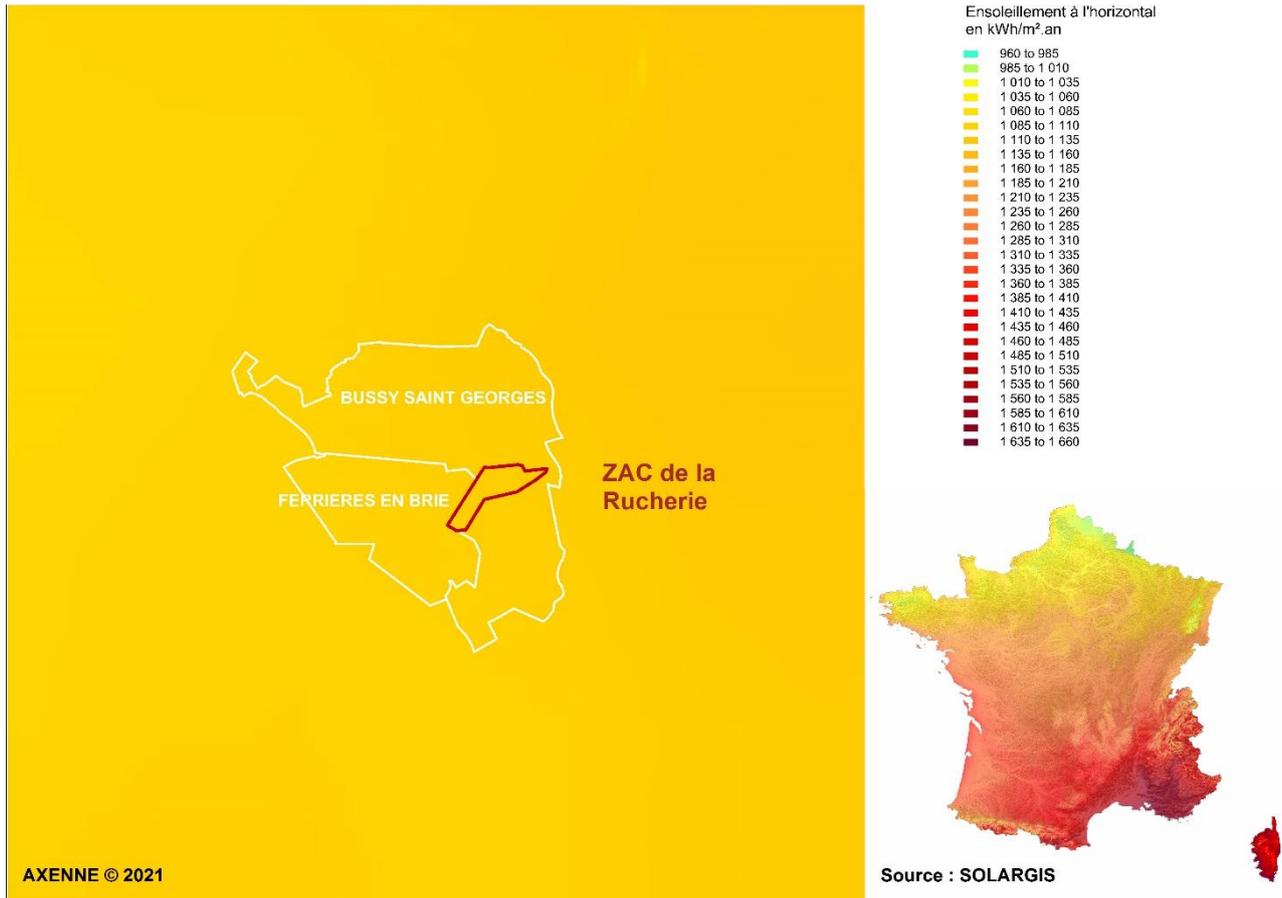


Figure 4 : Ensoleillement moyen annuel sur le territoire, prise en compte du relief

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 dans la moyenne nationale de 1 047 kWh/m² par an sur l'ensemble du site.

112 PRODUCTIBLE

Le productible d'une installation solaire thermique est illustré par l'exemple d'une installation collective.

Chauffe-eau solaire collectif (CESC)

Caractéristiques de l'installation :

- 22 m² de capteurs
- Orientation Sud et inclinaison à 40°
- Ballon de stockage de 1 500 L,
- Consommation de 1 300 L/jour.

On prend ici l'hypothèse d'un immeuble de 10 logements collectifs accueillant une moyenne de 2,8 personnes par logement.

Avec les hypothèses mentionnées ci-dessus, l'installation produira 9 227 kWh/an soit 35% des besoins en eau chaude sanitaire de l'immeuble considéré. La productivité des capteurs est de 422 kWh/m².

L'installation solaire thermique peut être utilisée pour alimenter en eau chaude sanitaire des bâtiments présentent des consommations d'eau chaude sanitaire importante et régulière sur l'année. Elle peut aussi assurer le (pré)chauffage d'eaux de lavage ou de process industriel.

Capteurs sous vide – production d'eau chaude

Des capteurs solaires sous vide peuvent être installés si les process nécessitent un chauffage à haute température des eaux. La productivité des capteurs est alors d'environ 700 kWh/m².



Figure 5 : Capteur solaire thermique à tubes sous vide

Chauffage solaire de l'air – exemple pour un bâtiment de stockage (logistique)

Le capteur le plus communément utilisé pour le chauffage de l'air de ventilation est le capteur solaire à plaque perforée sans vitrage, et cela, grâce à son faible coût, à sa grande efficacité ainsi qu'à sa facilité d'installation.

Le principe de ce type de capteur est un recouvrement mural extérieur perforé de nombreux petits trous espacés de 2 à 4 cm. L'air traverse les trous dans le capteur avant d'être envoyé à l'intérieur du bâtiment afin de fournir un nouvel air de ventilation préchauffé.



Les caractéristiques de l'installation sont les suivantes :

- 100 m² de capteurs ;
- orientation sud et inclinaison à 90° ;
- T° consigne intérieure de 12°C ;
- débit nominal d'air 2 000 m³/h ;
- puissance supplémentaire de ventilation : 3 W/m² soit 300 W ;
- énergie supplémentaire de ventilation : 2 MWh (9 mois considérés) ;
- volume à chauffer : 3 000 m³



L'installation solaire thermique couvre 14% des besoins, un appoint de chauffage est nécessaire.

113 CONTRAINTES

1131 Contraintes réglementaires

CONTEXTE

Dans l'objectif de protéger et conserver le patrimoine bâti présentant une importance particulière, différents types de protection existent en France : secteur sauvegardé, site classé, sites patrimoniaux remarquables,

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

Une partie de l'emprise de la ZAC au sud recoupe le périmètre de protection des abords du Domaine de Ferrières, classé monument historique.

L'implantation de panneaux solaires en toiture est possible sur le site, sous réserve d'étudier précisément les perceptions de l'installation depuis les édifices et d'effectuer un examen des covisibilités de l'édifice et de l'installation depuis différents points de vue remarquables. L'avis de l'architecte des bâtiments de France est requis ; il s'agit d'un avis conforme dans le cas d'une covisibilité entre l'installation et le monument historique ou d'un avis simple s'il n'y a pas de covisibilités.

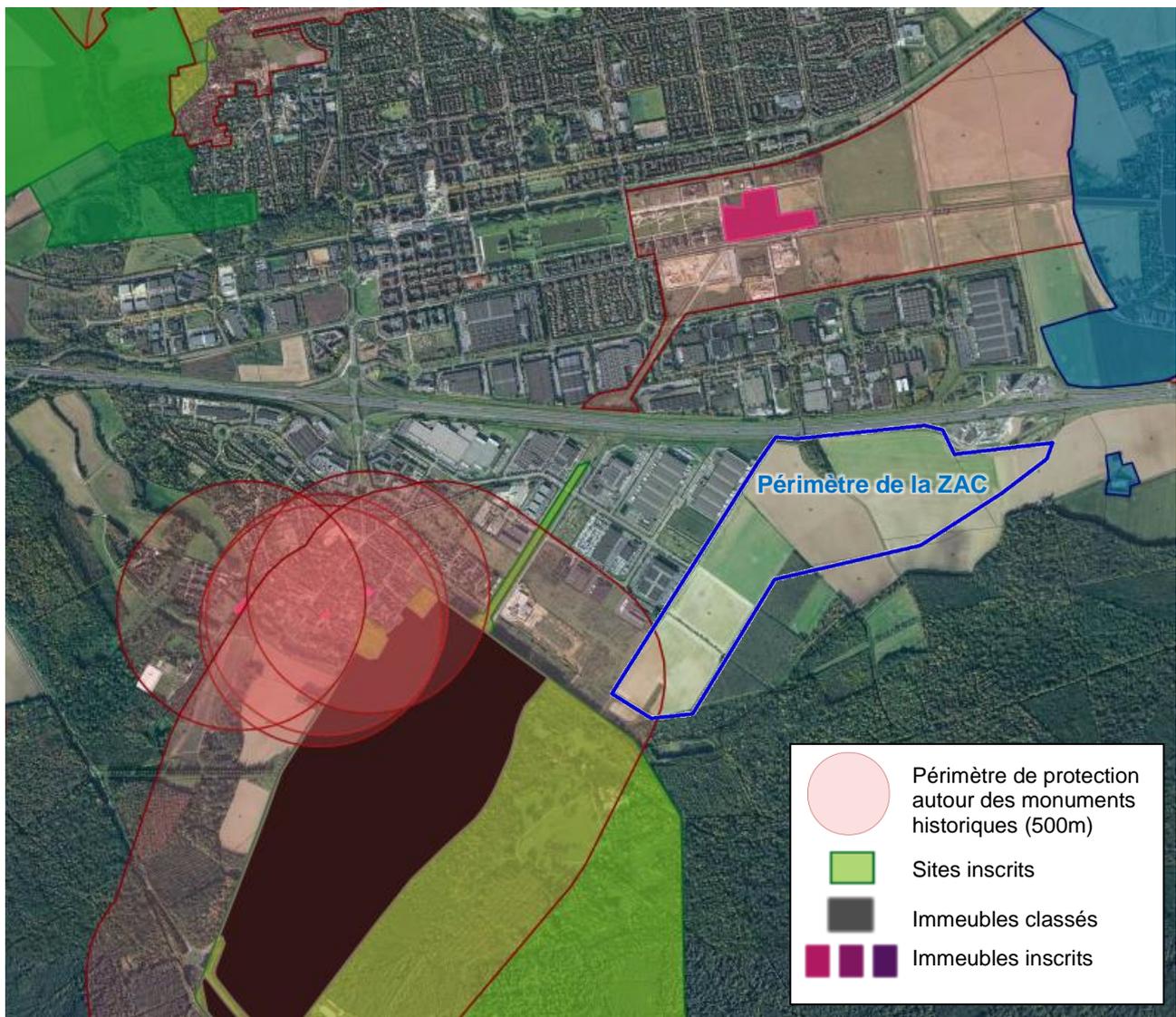


Figure 6 : Patrimoine historique aux abords de la ZAC

Type de protection (de la + forte à la – forte)	Définition	Objectifs	Procédures	Principes à respecter pour l'implantation de capteurs
<p>Sites patrimoniaux remarquables</p> <p>Loi du 7 juillet 2016</p>  <p>ENJEU REDHIBITOIRE</p>	<p>Les sites patrimoniaux remarquables sont « les villes, villages ou quartiers dont la conservation, la restauration, la réhabilitation ou la mise en valeur présente, au point de vue historique, architectural, archéologique, artistique ou paysager, un intérêt public. »</p> <p>Les sites patrimoniaux remarquables se substituent aux anciens dispositifs de protection :</p> <ul style="list-style-type: none"> secteurs sauvegardés, zones de protection du patrimoine architectural, urbain et paysager (ZPPAUP), aires de mise en valeur de l'architecture et du patrimoine (AVAP). 	<p>La création de ce classement a pour motivation :</p> <ul style="list-style-type: none"> une simplification en remplaçant les divers dispositifs existants par un seul. La loi simplifie également le régime des travaux aux abords des monuments historiques et au sein des sites patrimoniaux remarquables. l'articulation des compétences entre l'État et les collectivités locales favoriser l'attractivité des territoires mettre en valeur et préserver les sites. faciliter la protection des abords des monuments historiques. 	<p>Le classement résulte d'une décision du ministre de la culture, après avis de la Commission nationale du patrimoine et de l'architecture, après enquête publique et après consultation des communes concernées. Le classement précise le périmètre concerné.</p> <p>Les enjeux sont retranscrits dans un plan de gestion du territoire qui peut prendre deux formes :</p> <ul style="list-style-type: none"> soit un plan de sauvegarde et de mise en valeur (document d'urbanisme) soit un plan de valorisation de l'architecture et du patrimoine (servitude d'utilité publique) <p>Chacun d'eux constitue un facteur de lisibilité pour les porteurs de projets et les habitants.</p>	<p>La lecture du règlement et son strict respect vis-à-vis de l'implantation de capteurs solaires peuvent conduire à une interdiction ou à de multiples prescriptions (par ex : invisible depuis la voie publique, encastré dans la toiture, matériaux brillants interdits (modules polycristallins), cadre en aluminium interdit, etc.).</p> <p>Les capteurs solaires devront être intégrés aux volumétries, matériaux et teintes et se fondre dans l'architecture et son environnement.</p>
<p>Site Classé</p> <p>Articles L341-1 à L341-22 du code de l'environnement</p>  <p>ENJEU MAJEUR</p>	<p>Un site classé est un site à caractère artistique, historique, scientifique légendaire ou pittoresque, dont la préservation ou la conservation présentent un intérêt général.</p>	<p>Cette procédure est utilisée en particulier en vue de la protection d'un paysage remarquable, naturel ou bâti. L'objectif de la protection est le maintien des lieux dans les caractéristiques paysagères ou patrimoniales qui ont motivé le classement.</p>	<p>Toute modification de l'état des lieux est soumise à autorisation spéciale, soit du ministre chargé de l'environnement après avis de la commission départementale de la nature des sites et des paysages (CDNPS) et, si le ministre le juge utile, de la commission supérieure des sites ; soit du préfet pour les travaux de moindre importance.</p> <p>L'avis conforme de l'architecte des bâtiments de France est requis dans ce dernier cas.</p>	<p>Il faut absolument éviter les pièces rapportées et les perceptions visuelles qui entreraient en concurrence avec le site classé. Il paraît très difficile d'implanter des capteurs solaires sur un bâtiment situé dans un site classé, sauf si ces derniers sont parfaitement intégrés sur la toiture du bâti existant (couleur, disposition...).</p>

Type de protection (de la + forte à la – forte)	Définition	Objectifs	Procédures	Principes à respecter pour l'implantation de capteurs
<p>Monument historique <i>Loi du 31 décembre 1913</i></p>  <p>ENJEU FORT</p>	<p>Au sens de la loi du 31 décembre 1913, un monument historique peut-être « toute œuvre d'art d'un intérêt historique, quelles qu'en soient les dimensions, qu'il s'agisse d'un immeuble ou d'un objet mobilier ».</p> <p>Il faut d'ailleurs distinguer cinq catégories d'objets (immeubles, abords des édifices, objets mobiliers et immeubles « par destination », grottes ornées, orgues historiques) et trois types de mesures : l'instance de classement (procédure d'urgence, limitée dans le temps) ; l'inscription à l'inventaire (qui intervient avant le classement du site), et enfin le classement proprement dit.</p>	<p>La protection d'un monument historique intervient aussi bien sur le monument que sur ses abords. Il s'agit de contrôler les aménagements susceptibles d'intervenir autour du site de manière à conserver son authenticité et sa valeur patrimoniale.</p> <p>Pour cela, les travaux autorisés sont effectués sous surveillance de l'administration des affaires culturelles.</p> <p>La protection des monuments historiques intervient dans un périmètre de 500 m aux abords des sites. La loi SRU devrait modifier le principe du périmètre de protection en instaurant au cas par cas un périmètre suivant le contexte et le type de monument historique.</p>	<p>L'avis de l'Architecte des Bâtiments de France est requis ; il s'agit d'un avis conforme dans le cas d'une covisibilité entre l'installation et le monument historique ou d'un avis simple s'il n'y a pas de covisibilité.</p>	<p>L'implantation de panneaux solaires en toiture est possible dans le périmètre de 500 m de rayon autour d'un édifice protégé, sous réserve d'étudier précisément les perceptions de l'installation depuis les édifices (inter-visibilité) et d'effectuer un examen des covisibilités de l'édifice et de l'installation depuis différents points de vue remarquables.</p>
<p>Site inscrit <i>Articles L341-1 à L341-22 du code de l'environnement</i></p>  <p>ENJEU FORT</p>	<p>Il s'agit de sites inscrits à l'inventaire des sites présentant un intérêt général du point de vue artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque.</p> <p>Un site inscrit peut être naturel ou bâti. Il est susceptible d'être transformé à terme en site classé (notamment les sites naturels) ou en ZPPAUP (principalement les sites bâtis).</p>	<p>L'inscription a pour objectif de permettre à l'État d'être informé des projets concernant le site, et d'intervenir de façon préventive, soit en vue de l'amélioration de ces projets, soit si nécessaire en procédant au classement du site.</p>	<p>L'architecte des bâtiments de France émet sur le projet un avis simple. Si l'intérêt du site est menacé, l'Architecte des Bâtiments de France peut suggérer au ministre de recourir à des mesures d'urgence ou de lancer des procédures de classement s'il estime qu'une intervention menace la cohérence du site.</p>	<p>L'implantation de panneaux solaires est possible dans un site inscrit, sous réserve d'étudier leur intégration en toiture (couleur, disposition, etc.).</p>

1132 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.

114 POTENTIEL

Des capteurs solaires thermiques peuvent être mis en place sur tous les bâtiments, dans la mesure où il n'y a pas de contraindication de la part de l'architecte des bâtiments de France. Les capteurs devront être intégrés à la construction et on évitera les covisibilités avec le Domaine de Ferrières dans la partie sud.

Les filières solaires thermiques présentent un gisement intéressant, et pourraient être sollicitées pour contribuer à l'approvisionnement énergétique du site.

12 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.

121 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, caquettes, etc.) et des résidus d'élagage. La plupart de ces matériaux doivent être transformés avant d'être utilisés dans une chaudière.

Sur le territoire de l'EPAMARNE, différentes ressources de bois peuvent être mobilisées :

Les ressources	Les matières premières disponibles	Les matières combustibles correspondantes
Les produits de l'entretien et de l'exploitation des forêts	Produits forestiers	Plaquettes
Les sous-produits des métiers du paysage et de l'environnement	Rémanents	Plaquettes et broyats
Les sous-produits du recyclage	Déchets classe Verte	Broyats divers
Les cultures agricoles ou arboricoles dédiées	Cultures énergétiques	Plaquettes et/ou pellets
Les sous-produits de l'agroalimentaire	Sous-produits	Produits spécifiques

Figure 7 : Les ressources bois et leurs produits sur le territoire de l'EPAMARNE (source : Métropole Biomass Energy)

Remarque : Les connexes de scierie ne sont pas représentés sur le territoire.

L'étude menée par Métropole Biomass Energy en 2012 a permis d'évaluer le gisement mobilisable pour chacune de ces ressources :

- Forêt : cartographie à l'échelle du département,
- Structures de l'environnement et du paysage : identification à l'échelle du département,
- Acteurs-ressources correspondant à l'ensemble des activités professionnelles valorisables pour la filière : identification par classe et par commune sur le territoire de l'EPAMARNE. Les différentes classes sont les suivantes :
 - Environnement et paysage,
 - TP et Travaux divers / Négoce de matériaux,
 - Maison et habitat,
 - Travail et commerce du bois,

- Prestation à domicile.

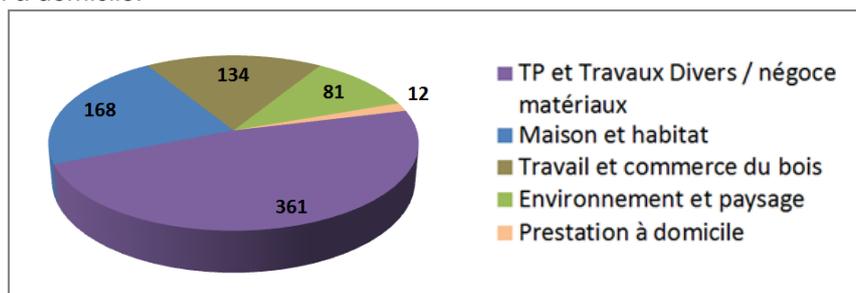


Figure 8 : Répartition des acteurs-ressources sur le territoire de l'EPAMARNE (source : Métropole Biomass Energy)

Le gisement bois mobilisable localement se monte à environ 37 000 tonnes par an. Il se compose pour près de la moitié de sous-produits du recyclage.

Les ressources	Les volumes disponibles
Les produits de l'entretien et de l'exploitation des forêts	11 000 tonnes/an
Les sous-produits des métiers du paysage et de l'environnement	8 000 tonnes/an
Les sous-produits du recyclage	18 000 tonnes/an
Les cultures agricoles ou arboricoles dédiées	nc
Les sous-produits de l'agroalimentaire	nc
TOTAL	37 000 tonnes/an

Figure 9 : Volumes de bois mobilisables localement (source : Métropole Biomass Energy)

Remarque : Le réseau de chaleur de la ZAC du Sycomore devrait consommer de l'ordre de 9000 tonnes/an.

FOURNISSEURS LOCAUX

Plusieurs fournisseurs locaux seraient à même d'approvisionner en plaquettes une ou plusieurs chaufferies bois situées sur la ZAC :

- Compost Val d'Europe, situé à Chalifert, est spécialisé dans le recyclage des déchets industriels, des déchets verts et dans la réalisation de compost. La société produit également des plaquettes forestières.
- TerrEnergie, située à Vulaines-les-Provins, alimente plusieurs chaufferies bois en Ile-de-France.
- La SEV (Société des Espaces Verts) possède une plateforme de production de plaquettes à Montesson.
- Le siège social de Valorisol est situé à Villeneuve-les-Sablons, mais la société peut faire transiter ses plaquettes par la plateforme de compostage de TEVA, située à la Queue-en-Brie.
- Compost du Gâtinais est situé à Moigny-sur-Ecole.

TerrEnergie est également distributeur de granulés. La société Boi'Sup, située à Engenville (100 km de Ferrières-en-Brie) produit des granulés, distribués en Seine-et-Marne par la société SICA La Gâtinaise.

122 CONTRAINTES

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 ou en sous-sols de bâtiments existants 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.

ACCESSIBILITE POUR LA LIVRAISON

L'accès aux abords du site ne devrait pas poser de problème pour les camions de livraison du combustible ; l'accès à l'intérieur du site et au silo devra être étudié avec soin suivant la localisation du silo et le règlement du site.

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.
- 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.

123 POTENTIEL

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 des chaudières alimentant un ou plusieurs bâtiments ou un réseau de chaleur au bois énergie.

13 GEOTHERMIE



La géothermie est l'exploitation de la chaleur du sous-sol. Cette chaleur est produite pour l'essentiel par la radioactivité naturelle des roches constitutives de la croûte terrestre. Elle provient également, pour une faible part, des échanges thermiques avec les zones internes de la Terre dont les températures s'étagent de 1 000°C à 4 300°C. Enfin, en ce qui concerne la géothermie dite de surface, la chaleur de la couche superficielle du sous-sol est en partie influencée par le climat.

L'accroissement de la température en fonction de la profondeur est appelé « gradient géothermal ». Il est en moyenne, sur la planète, de 3,3°C par 100 mètres. Les gisements géothermiques sont qualifiés en fonction de leur température notamment, de haute à très basse énergie (cf. figure ci-après).

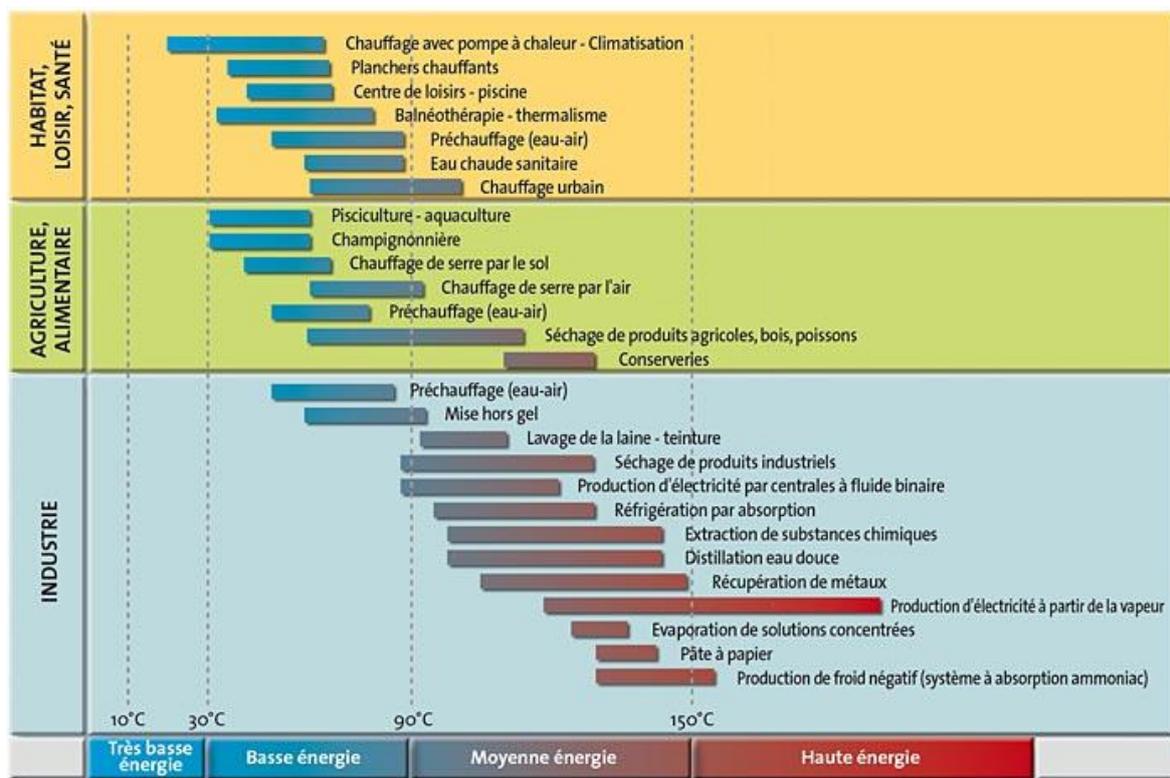


Figure 10 : Principales utilisations de la géothermie en fonction des températures (Source : Géothermie Perspectives)

On distingue cinq catégories de géothermie, suivant le niveau de température des fluides exploités :

- La **géothermie très basse énergie** (température inférieure à 30°C – profondeur inférieure à 100 m) : par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur (PAC), l'énergie du sous-sol est utilisée pour le chauffage et/ou le rafraîchissement de locaux.
- La **géothermie basse énergie** (température comprise entre 30 et 90°C) est destinée au chauffage urbain, à certaines utilisations industrielles, au thermalisme ou encore à la balnéothérapie. L'essentiel des réservoirs exploités se trouve dans les bassins sédimentaires (profondeur comprise entre 1 500 et 2 500 mètres).
- La **géothermie moyenne énergie** (température comprise entre 90 et 150°C) : eau chaude ou vapeur humide) : elle est destinée à des usages thermiques tels que des utilisations industrielles et peut être utilisée pour la production d'électricité (technologie faisant appel à un fluide intermédiaire). Elle se retrouve dans les zones propices à la géothermie haute énergie, mais à une profondeur inférieure à 1 000 mètres. Elle se situe également dans les bassins sédimentaires, à des profondeurs allant de 2 000 à 4 000 mètres.
- La **géothermie haute énergie** (température supérieure à 150°C) : Les réservoirs, généralement localisés entre 1 500 et 3 000 mètres de profondeur, se situent dans des zones de gradient géothermal

anormalement élevé. Lorsqu'il existe un réservoir, le fluide peut être capté sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité.

- La **géothermie profonde des roches chaudes fracturées** (hot dry rock) : Elle s'apparente à la création artificielle d'un gisement géothermique dans un massif cristallin. À trois, quatre ou cinq kilomètres de profondeur, de l'eau est injectée sous pression dans la roche. Elle se réchauffe en circulant dans les failles et la vapeur qui s'en dégage est pompée jusqu'à un échangeur de chaleur permettant la production d'électricité. Plusieurs expérimentations de cette technique sont en cours dans le monde, notamment sur le site de Soultz-Sous-Forêts en Alsace.

Seule la géothermie basse et 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 géothermies¹.

131 GISEMENT

Les pompes à chaleur (PAC) sont un élément indispensable pour la valorisation de la géothermie très basse énergie. 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 :

- **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). Il s'agit de tubes de polyéthylène ou de cuivre gainés de polyéthylène qui sont installés en boucles enterrées horizontalement à faible profondeur (de 0,60 m à 1,20 m). → **Cette technologie est réservée aux maisons existantes – les maisons neuves ayant de faibles besoins en énergie qui ne justifient pas un tel équipement – et ne sera donc pas étudiée dans le cadre de la ZAC.**

- **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. Il peut également s'agir de capteurs intégrés dans les fondations sur pieux du bâtiment (tubes polyéthylène noyés dans le béton). On parle de géostructures ou fondations thermoactives.

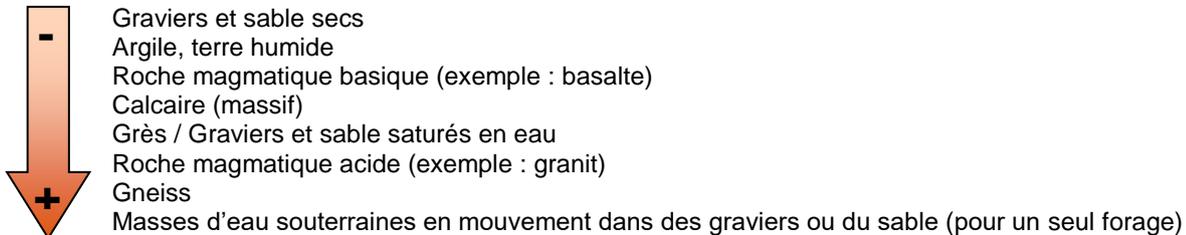
- **capteurs sur nappe** : deux tubes distincts puisent l'eau dans un aquifère peu profond puis la restituent. Le fluide utilisé est alors directement l'eau de l'aquifère (Cf. § 1.4).

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

¹ 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.

POMPES A CHALEUR SUR CAPTEURS VERTICAUX

La conductivité thermique d'un terrain varie essentiellement suivant son humidité et sa texture. La figure ci-dessous montre la variation du potentiel en fonction du type de sous-sol :



Les données nécessaires à l'étude du potentiel de géothermie très basse énergie sur sol ne sont pas disponibles de manière continue jusqu'à 100 mètres de profondeur sur la zone étudiée. Des informations ponctuelles sont cependant accessibles dans la Base de Données du Sous-Sol (BSS) du BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière). Plusieurs forages existent déjà sur la zone, pour des usages autres que géothermiques.



Figure 11 : Localisation des ouvrages géologiques sur la ZAC et profondeur de ces ouvrages (Source : Infoterre)

Ces coupes vont jusqu'à 160 mètres de profondeur et donnent des indications sur la composition du sous-sol de la ZAC : essentiellement des marnes, du calcaire, du sable et de l'argile. En première approche sur les 100 premiers mètres de profondeur², la composition du sol laisse entrevoir une capacité d'absorption calorifique de l'ordre de 50 W/m. C'est un potentiel moyen.

D'une manière générale, **la mise en place de pompes à chaleur sur capteurs verticaux est possible et intéressante partout en France, donc également sur le territoire de la ZAC.** Il serait nécessaire de réaliser un test de réponse thermique du terrain pour connaître précisément la composition et la capacité thermique du terrain.

132 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, vulnérabilité de la nappe, etc.

² Les capteurs verticaux ne descendent pas plus bas que 100 mètres, car au-delà la réglementation est plus contraignante

Le BRGM et le CEREMA ont établi une carte des zones relatives à la géothermie de minime importance³ pour le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. 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,
- 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.*

Les cartes suivantes présentent le zonage réglementaire pour la géothermie sur échangeur fermé en fonction de la profondeur (géothermie sur capteurs verticaux).

³ 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.

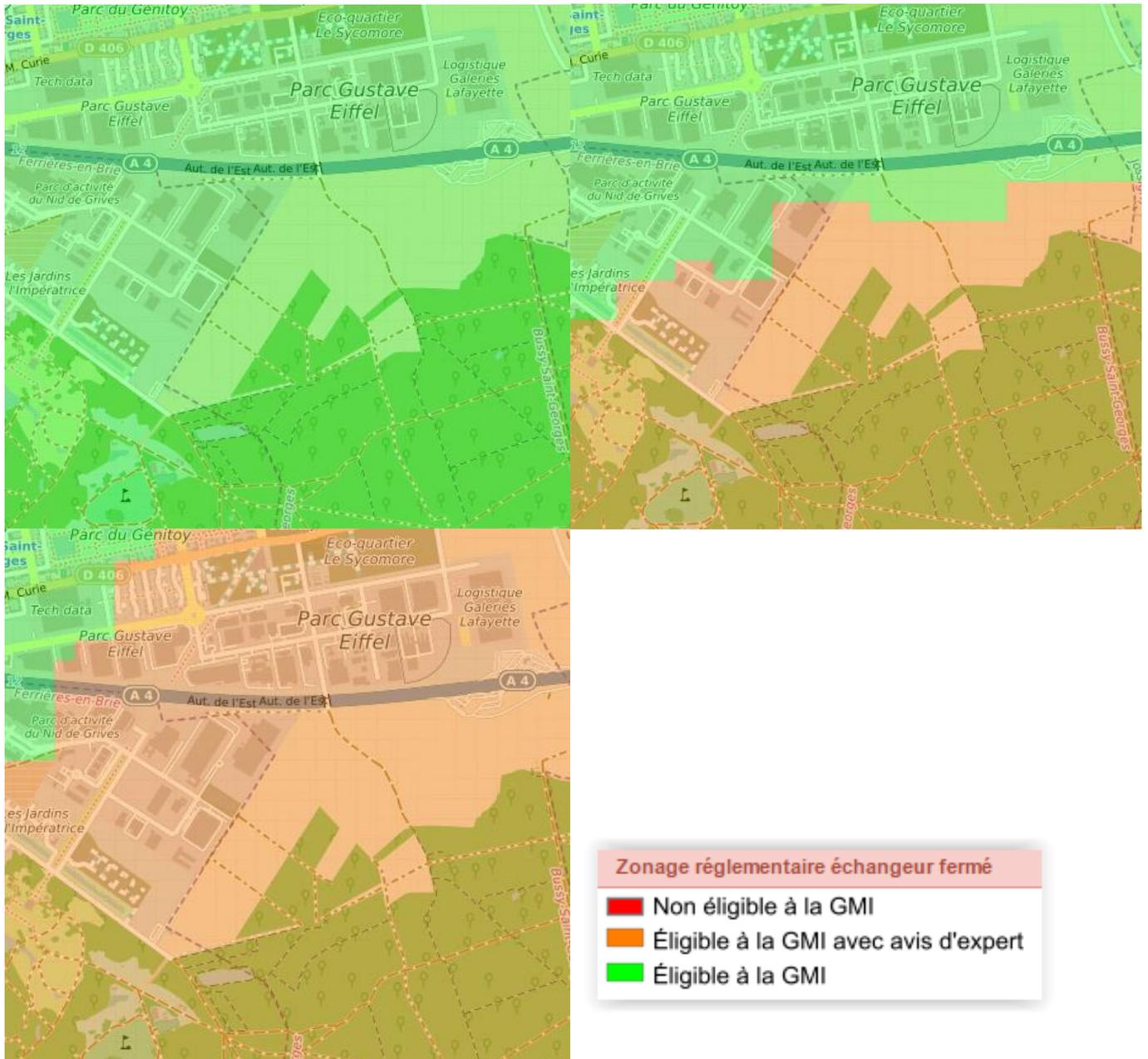


Figure 12 : Zonage réglementaire pour la géothermie sur capteurs verticaux à 50, 100 et 200 m de profondeur (BRGM)

Le site est éligible à la géothermie de minime importance sur capteurs verticaux sans contrainte jusqu'à 50 m et avec avis d'expert au-delà. Le principal risque identifié est la mise en relation d'aquifères.

La ZAC est située dans le périmètre de protection éloignée du captage AEP de Ferrières-en-Brie. Dans son avis d'août 2011, l'ANSES indique que « dans le périmètre de protection éloigné et si pour tous les dangers identifiés des mesures de maîtrises sont mises en œuvre, les risques seront plus faibles que dans le périmètre de protection rapproché en raison de l'éloignement du dispositif vis-à-vis du captage d'eau. En outre, [...], l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables ne peut être interdite mais seulement réglementée dans le périmètre de protection éloignée. »

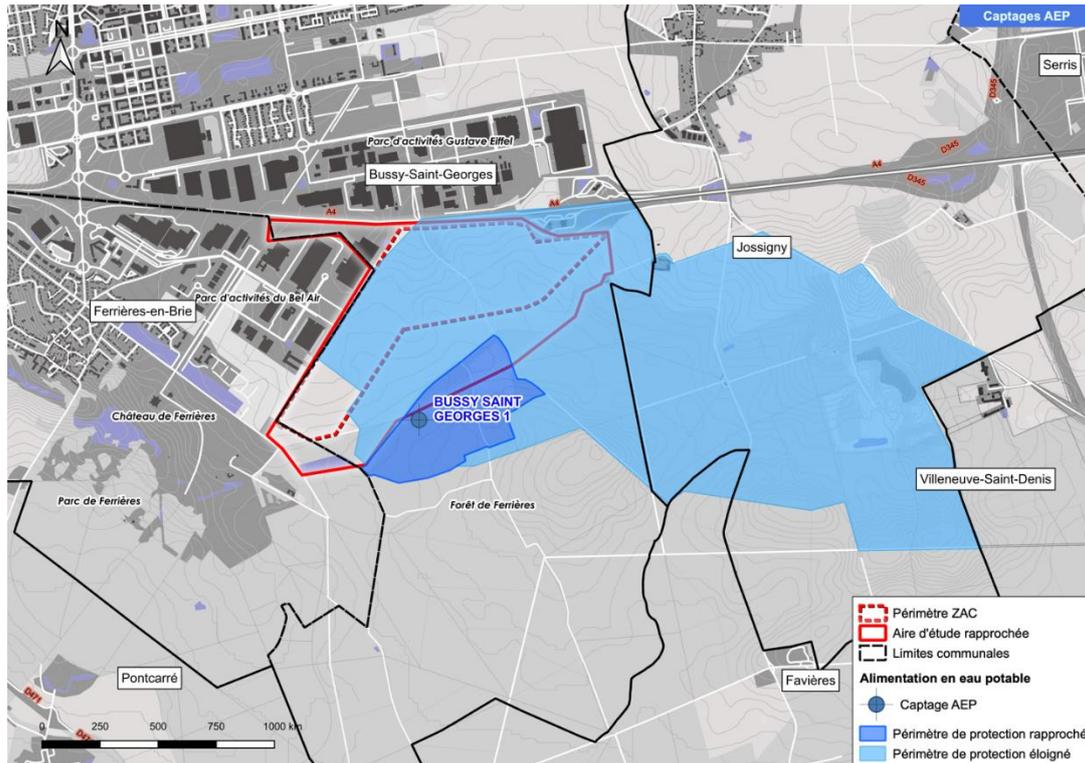


Figure 13 : Protections du captage d'alimentation en eau potable situé à proximité de la ZAC

Par ailleurs, voici les prescriptions données par l'Arrêté Préfectoral correspondant⁴ :

« Périmètre de protection éloignée

Dans ce périmètre, toute activité ou fait pouvant conduire à une communication directe avec l'aquifère capté ou avec l'horizon géologique qui le protège sera soumis à l'avis de la MISE, et ce, afin de prescrire les dispositions éventuellement nécessaires pour prévenir les risques présentés vis-à-vis des eaux captées.

Les activités ci-dessous sont réglementées :

- Les forages de puits devront être cimentés jusqu'au toit de la nappe et faire l'objet d'une surveillance. Préalablement une notice d'incidence devra être réalisée. En cas de réalisation d'ouvrages captant les calcaires du Brie, l'impact d'un nouveau prélèvement devra être étudié et quantifié notamment par des pompages de longue durée.
- [...]. »

L'« Avis hydrogéologique relatif à la compatibilité entre la ZAC de la Rucherie et le captage AEP de Ferrière-en-Brie » émis par l'hydrogéologue agréé M. GRIERE⁵ donne des indications sur le mode de construction des pieux de fondation, et limite leur nombre dans la partie nord (zone de protection maximale) afin de ne pas freiner l'écoulement de la nappe. Ces restrictions sont applicables aux sondes géothermiques.

Dans ce contexte, il ne semble pas judicieux de mettre en place des capteurs géothermiques verticaux dans la partie nord de la ZAC ; M. GRIERE confirme que l'idéal serait d'exclure la partie nord de la ZAC⁶. Il n'y a pas de contre-indications particulières pour le reste de la ZAC.

133 POTENTIEL

La géothermie très basse énergie sur capteurs verticaux ou pieux géothermiques présente un potentiel a priori intéressant mais ne pourra pas être mise en œuvre sur la partie nord du site ; il pourra s'agir d'une source d'approvisionnement en énergie pour les bâtiments ayant de faibles besoins et/ou des besoins de chaud et de froid. Des tests en réponse thermique sont nécessaires pour identifier précisément la puissance spécifique qui pourra être mobilisée.

⁴ Arrêté préfectoral n°09 DAID EC 08 - captage d'eau de ferrières en brie n°01847x0010/f

⁵ Avis basé sur l'étude de faisabilité réalisée par BETURE Infrastructure en janvier 2003

⁶ Lettre du 23/10/2012 de M. Grière à Axenne « Étude d'opportunité recours à la géothermie ZAC de la Rucherie »

14 HYDROTHERMIE



L'hydrothermie est la récupération de chaleur sur l'eau de nappes ou de cours d'eau (cf. Article 19 de la Loi 2009-967 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite Grenelle I).

14.1 AQUIFERES SUPERFICIELS

La région Île-de-France possède de nombreuses nappes aquifères. Le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques Minières), en partenariat avec l'ADEME, l'ARENE et EDF, met à disposition le « Guide d'aide à la décision pour l'installation des pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Île-de-France ». Ce guide propose le potentiel de plusieurs aquifères en Île-de-France, en se basant sur cinq critères :

- la profondeur⁷ : critère déterminant pour le coût d'investissement du projet : plus la nappe est profonde, plus les coûts de forage sont importants.
- l'épaisseur saturée : critère technique pour estimer la productivité de l'aquifère.
- la transmissivité⁸ : critère qui détermine l'exploitabilité d'un réservoir puisqu'il est directement lié au débit spécifique exploitable.
- l'hydrochimie de la nappe, qui est fonction de la dureté de l'eau⁹ : paramètre qui renseigne sur les coûts de maintenance et d'exploitation.
- la température, qui est de l'ordre de 12°C pour toutes les nappes considérées.

Le guide du BRGM présente les potentiels des aquifères multicouches de l'Oligocène, de l'Éocène supérieur, de l'Éocène moyen et inférieur et de la Craie (Crétacé supérieur). Les données sont calculées sur des mailles de 250 mètres de côté, à partir d'extrapolation de données connues sur des zones plus larges ; il s'agit donc d'indications qui peuvent varier localement plutôt que de valeurs figées. Ces données ont été affinées lorsque des ouvrages locaux existants permettent une meilleure connaissance locale (informations transmises par l'hydrogéologue M. GRIERE¹⁰).

Aquifère multicouche	Nappes	Potentiel géothermique / minéralisation
Oligocène	- Nappe des formations marno-calcaires de Brie	- Faible - Moyennement minéralisée
Éocène supérieur	- Calcaires de Champigny - Calcaires de Saint-Ouen - Sables de Beauchamp	- Moyen - Moyennement minéralisée
Éocène moyen et inférieur	- Calcaires du Lutécien - Yprésien	- Moyen - Fortement minéralisée
Crétacé supérieur	- Nappe de la Craie	- Nul

Figure 14 : Potentiel géothermique et minéralisation des nappes des différents aquifères (source : « Guide d'aide à la décision pour l'installation des pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Île-de-France »)

⁷ La profondeur de la nappe, ou le « toit de la surface piézométrique », est la profondeur par rapport à la surface topographique à laquelle on rencontre l'eau de l'aquifère considéré.

⁸ La transmissivité est égale à l'épaisseur de l'aquifère divisée par la perméabilité moyenne. La perméabilité est la propriété d'un corps à laisser passer, à travers lui, l'eau en mouvement sous l'effet d'une différence de pression ; elle s'exprime en m/s.

⁹ La dureté de l'eau est l'indicateur de la minéralisation de l'eau et s'exprime en degré français (°f). 1°f correspond à 10-4 mol/L soit 4 mg de calcium ou encore 2,4 mg de magnésium par litre.

¹⁰ Lettre du 23/10/2012 de M. Grière à Axenne « Étude d'opportunité recours à la géothermie ZAC de la Rucherie »

D'après ce guide, le potentiel de l'Oligocène serait faible au droit de la ZAC ; les potentiels de l'Éocène supérieur et de l'Éocène moyen et inférieur seraient moyens ; celui de la Craie inexistant. Par ailleurs, M. Grière donne plusieurs informations complémentaires :

- Éocène supérieur : ses caractéristiques sont médiocres dans le secteur,
- Éocène moyen (Lutécien) : la productivité prévisionnelle pourrait être de 30 m³/h. Le niveau statique prévisionnel devrait être assez profond, ce qui engendrerait des frais de pompage élevés,
- Éocène inférieur (Yprésien) : la productivité prévisionnelle serait au mieux de 20 m³/h. La réinjection semble délicate du fait du caractère sableux de l'aquifère.

Comme l'indique le tableau ci-dessous (présenté à titre indicatif) ce débit pourrait permettre d'alimenter une surface de bâtiment importante par forage.

Classe de productivité	Commentaire
$Q_{\text{exploitable}} < 5 \text{ m}^3/\text{h}$	Le risque d'échec de production est élevé. La ressource est considérée comme faible.
$5 \text{ m}^3/\text{h} < Q_{\text{exploitable}} < 10 \text{ m}^3/\text{h}$	Cette gamme de débits permet d'envisager le chauffage de logements individuels.
$10 \text{ m}^3/\text{h} < Q_{\text{exploitable}} < 50 \text{ m}^3/\text{h}$	Cette gamme de débits permet d'envisager le chauffage de bâtiments de 1 000 à 5 000 m ² .
$Q_{\text{exploitable}} > 50 \text{ m}^3/\text{h}$	Cette gamme de débits permet d'envisager le chauffage de bâtiments supérieurs à 5 000 m ² .

Figure 15 : Application indicative des classes de productivité, de température et de profondeur des aquifères pour la géothermie, source : BRGM

II Ces informations ne se substituent pas à une étude de faisabilité détaillée d'un bureau d'études spécialisé, dans le but de confirmer la présence d'un potentiel supposé sur la zone considérée.

Une étude approfondie doit être réalisée par un bureau d'études spécialisé pour connaître les caractéristiques hydrologiques et géotechniques des terrains et conclure sur la possibilité d'utiliser cette nappe à des fins de production de chaleur pour une partie des bâtiments ou l'ensemble de la zone via un réseau de chaleur.

À titre d'exemple, il est important d'étudier l'impact des pompes à chaleur sur nappe sur les installations voisines de même type d'une part, et sur la température de la nappe d'autre part. Sur ce dernier point, l'idéal est d'utiliser la PAC en été et en hiver de manière à équilibrer les rejets.

CONTRAINTES DU SITE

Comme indiqué précédemment, la ZAC est située dans le périmètre de protection éloignée du captage AEP de Ferrières-en-Brie.

En conséquence, la réalisation de forages géothermiques sur nappe est envisageable sur la ZAC, à condition que :

- des mesures de maîtrise de chaque danger identifié (contamination nappe, mise en communication de nappes entre elles¹¹, ...) soient mises en œuvre,
- les forages soient cimentés jusqu'au toit de la nappe et fassent l'objet d'une surveillance,
- une notice d'incidence soit réalisée,
- nappe des calcaires de Brie : l'impact d'un nouveau prélèvement soit étudié et quantifié.

¹¹ cf. rapport de l'ANSES

CONCLUSION

La nappe de l'Oligocène est à écarter car son potentiel géothermique est faible et elle fait l'objet d'un captage d'eau destinée à l'alimentation humaine.

Juste en-dessous se trouve l'Éocène supérieur (calcaires de Champigny) ; ses caractéristiques, données par Géothermie Perspectives et M. Grière, ne sont pas suffisantes pour présenter un intérêt vis-à-vis de la géothermie sur nappe.

Le recours à l'Éocène moyen est envisageable bien que la productivité ne soit pas très importante, la minéralisation forte et le niveau statique profond. La nappe de l'Éocène moyen présente les caractéristiques et le potentiel géothermique suivants (*source : Géothermie perspectives¹², M. Grière*) :

- profondeur : 71 – 80 m,
- débit : 30 m³/h,
- épaisseur : 75 – 150 m,
- minéralisation : forte,
- potentiel géothermique : moyen.

L'Éocène inférieur est à écarter car la réinjection serait délicate (aquifère sableux).

→ Le recours aux eaux souterraines à des fins géothermiques est envisageable pour l'aquifère du Lutécien (Éocène moyen), avec une productivité peu élevée et des frais de pompage potentiellement élevés. Si un forage à plus de 200 mètres de profondeur s'avère nécessaire, sa réalisation soumise à autorisation dans le cadre du Code Minier.

142 **AQUIFERES INTERMEDIAIRES**

POTENTIEL SUR LE SITE

L'aquifère multicouche de l'Albien-Néocomien :

La nappe constituée par les sables de l'Albien se trouve à une profondeur de 600 mètres environ et possède une épaisseur moyenne de 110 mètres. La température de l'eau est comprise entre 25°C et 30°C. D'après une étude réalisée par le BRGM en 2007¹³, le débit exploitable de l'Albien varie de 50 à 250 m³/h, elle est très productive.

Les sables du Néocomien, situés 150 mètres en moyenne en dessous de l'Albien, offrent une eau entre 35°C et 50°C peu minéralisée. À l'aplomb de Paris, cet aquifère se situe à 750 mètres de profondeur (eau à 35°C) et peut atteindre 1 100 mètres au centre du bassin (eau à 50°C). Une seule application pour le chauffage, couplée à l'alimentation en eau potable, existe à ce jour à Bruyères Le Châtel dans un établissement du CEA.

CONTRAINTES DU SITE

La masse d'eau de l'Albien-Néocomien est très particulière car isolée de la pollution superficielle par une couche d'argiles. Elle est une réserve d'eau potable pour le bassin parisien en cas de crise naturelle ou sanitaire. Pour cette raison, les forages ne peuvent être autorisés que dans des zones identifiées¹⁴ : en cas de crise, le forage pourra être réquisitionné pour l'alimentation en eau potable.

¹² Ces informations ne peuvent ni ne doivent en aucun cas remplacer l'étude de faisabilité réalisée par des bureaux d'études spécialisés ; elles doivent être confirmées.

¹³ 'Nappes de l'Albien et du Néocomien, Définition des conditions d'accès à la ressource géothermique en Île-de-France', Rapport final, Novembre 2007

¹⁴ Dans tous les cas, la demande d'autorisation de prélèvement doit être effectuée ; le seuil autorisation / déclaration est abaissé pour l'Albien-Néocomien qui se trouve dans une Zone de Répartition des Eaux.

Le SDAGE Seine-Normandie mentionne dans sa disposition 114 la nappe de l'Albien-Néocomien captif en ces termes :

« La masse d'eau de l'ALBIEN-NEOCOMIEN CAPTIF est une ressource stratégique pour l'AEP de secours. À l'intérieur du périmètre tel que défini [...], la nappe de l'Albien et la nappe sous-jacente du Néocomien doivent être exploitées de manière à assurer impérativement leur fonction de secours pour l'AEP. Les prescriptions suivantes sont applicables aux prélèvements : [...]

- Les nouveaux prélèvements ne pourront être accordés que dans la mesure où leur localisation géographique s'inscrit de manière cohérente dans les zones d'implantation préférentielle des nouveaux forages de secours [...]. En cas de concurrence entre deux projets pour l'implantation d'un forage sur un secteur géographique donné, la priorité est donnée à l'AEP. S'il s'agit de projets industriels, la priorité est donnée à celui qui justifie de la nécessité d'utiliser une eau d'une telle qualité non disponible par ailleurs, à des coûts raisonnables, compte tenu des autres ressources et des technologies existantes de traitement de ces eaux et dont l'implantation satisfait au mieux la fonction de secours. [...]

- Le niveau des pompes des forages actuels et futurs doit être tel que l'ouvrage soit opérationnel à tout moment pour faire face à une alimentation de secours, pendant une durée de trois mois, au débit de 150 m³/h ou à défaut de pouvoir atteindre ce débit, au débit maximal exploitable connu lors des essais de pompage. Les forages actuels et futurs exploitant ces nappes doivent impérativement pouvoir être raccordés sous 24 heures aux dispositifs de distribution d'eau potable de secours ultimes quels qu'ils soient. Il est recommandé d'élaborer des plans départementaux de secours. Ces derniers définissent au cas par cas le détail des raccordements des forages de secours aux dispositifs de distribution de crise. »

→ La nappe de l'Albien peut être envisagée au cas où les températures et débits des nappes superficielles soient insuffisants par rapport aux besoins. Plus profonde, son utilisation sera plus coûteuse en termes d'investissement et d'exploitation.

143 AQUIFERES PROFONDS (GEOthermie BASSE ENERGIE)

Le **Dogger** est un bassin sédimentaire datant du Jurassique. Sa température est de l'ordre de 65 à 77°C en Ile-de-France. Le doublet géothermique du réseau de chaleur d'Essonne Habitat à Ris-Orangis exploite cette ressource à 72°C, avec un débit de 190 m³/h. Le forage atteint 1 900 m de profondeur.

Les critères retenus par le BRGM afin de déterminer le potentiel de la nappe du Dogger sont la température, la transmissivité et la profondeur de la nappe.

La réalisation d'un ouvrage sur le Dogger représente un investissement considérable (de l'ordre de 8 M€ contre 500 k€ à 1 M€ environ pour un ouvrage sur nappe superficielle). Ce type d'ouvrage ne peut être envisagé que dans le cadre d'une opération dépassant les seuls équipements de la ZAC.

Le potentiel géothermique de ces aquifères est exploitable par échange direct de chaleur, au vu de leurs températures. En revanche, l'exploitation de cette ressource n'est envisageable que dans le cadre de la mise en place d'un réseau de chaleur alimentant un nombre très conséquent d'immeubles et de bâtiments publics et tertiaires. En effet, les coûts de forage étant très importants, il est possible de rentabiliser un tel projet avec un nombre important d'utilisateurs raccordés au réseau de chaleur¹⁵. Ce type d'installation n'est pas envisagée sur les communes de Bussy-Saint-Georges et Ferrière-en-Brie.

144 POTENTIEL

La géothermie très basse énergie sur les nappes du Lutétien ou de l'Albien est envisageable sur la ZAC. Des études complémentaires quant aux caractéristiques de ces nappes devront être menées pour confirmer et affiner leurs caractéristiques locales.

Le choix d'une nappe sera conditionné par la demande énergétique de la ZAC.

¹⁵ Ou un nombre d'utilisateurs plus restreint mais présentant des besoins de chauffage très importants.

15 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 (cf. § 1.3 pour une présentation des pompes à chaleur).

151 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.

Le site ne présente pas d'hivers très rigoureux, de ce fait, ce type d'installation est envisageable mais pas à privilégier, ou pour un fonctionnement en mi-saison seulement.

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.

Ces équipements sont présentés dans des fiches dans la seconde partie de ce rapport.

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.

16 RECUPERATION DE CHALEUR SUR EAUX USEES

161 TECHNOLOGIE



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.

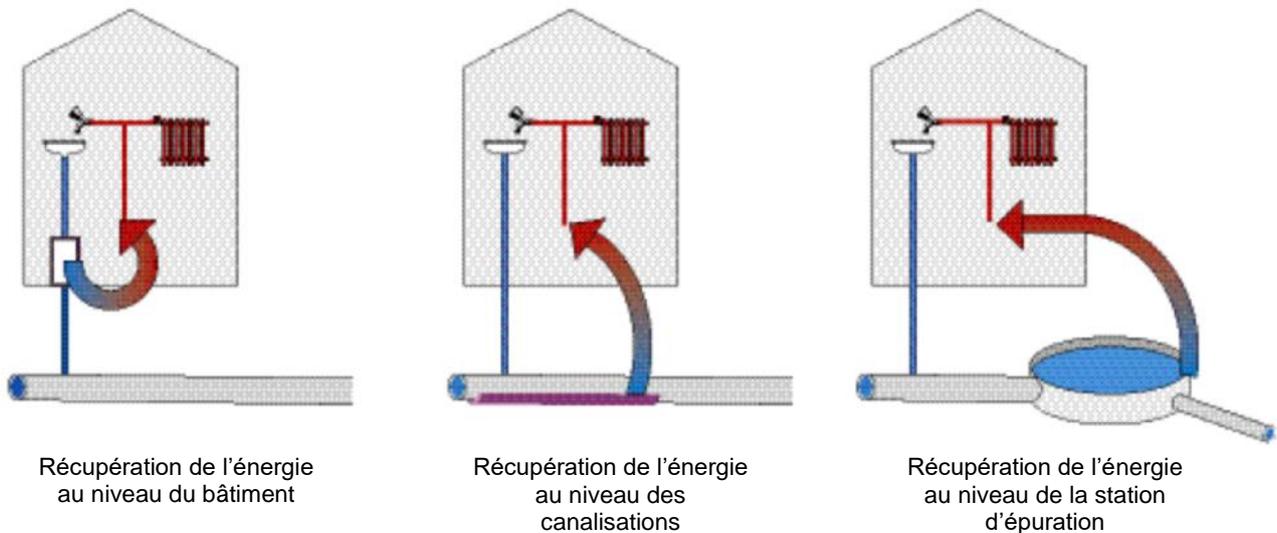


Figure 16 : Récupération de l'énergie des eaux usées (Source : Gestion et services publics, Suisse)

1611 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.

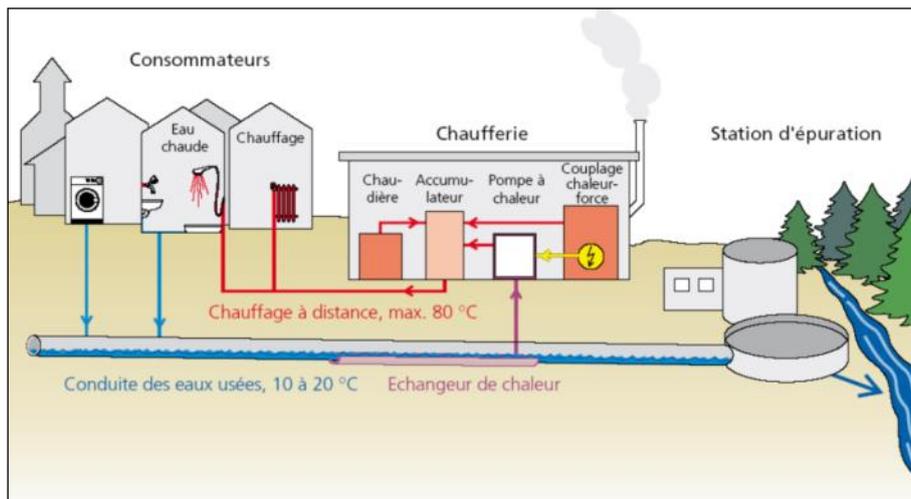


Figure 17 : Principe de fonctionnement de la récupération de chaleur des eaux usées sur les canalisations (Source : Susanne Staubli)



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 18 : Canalisation préfabriquée avec échangeur de chaleur intégré

Source : Guide pour les maîtres d'ouvrages et les communes, OFEN



Figure 19 : 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.

CONTRAINTES ET RECOMMANDATIONS

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
<u>Type de bâtiment</u>	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.
<u>Distance collecteur/bâtiments</u>	Préférable : inférieure à 350 m Cas favorable : distance inférieure à 200 m
<u>Température de fonctionnement</u>	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)
<u>Puissance thermique</u>	Minimum 150 kW (Puissance nécessaire pour l'alimentation d'une cinquantaine de logements collectifs)
<u>Volume de consommation</u>	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.
<u>Climatisation</u>	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 : OFEN¹⁶, Lyonnaise des Eaux

Sur le réseau de collecte des eaux :

Paramètre	Contrainte/Recommandation
<u>Débit des eaux usées</u>	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
<u>Diamètre du collecteur</u>	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.
<u>Température des eaux usées</u>	La température des eaux en entrée de la station d'épuration doit de préférence être supérieure à 12°C ¹⁷ 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.
<u>Âge des conduites</u>	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

¹⁶ 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.

¹⁷ 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.

1612 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 preneurs 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 page suivante.

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

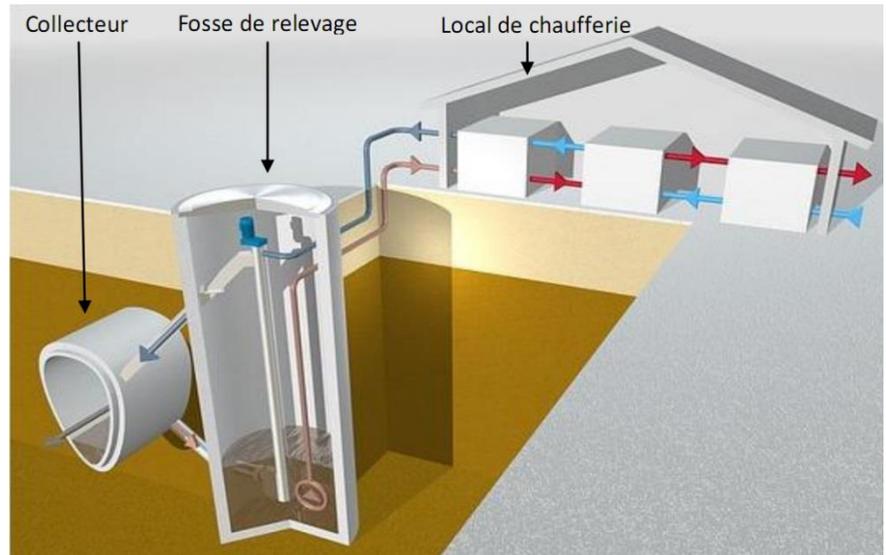


Figure 22 : Récupération de chaleur à partir d'une fosse de relevage Source : www.huber.de

CONTRAINTES

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.

En plus des conditions de débits et de températures à respecter, d'autres contraintes sont listées ci-dessous :

- 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 ;

Cette solution nécessite d'avoir de la place aux abords de la fosse et des preneurs de chaleur à proximité de la station de pompage. Une solution en cours de développement permet de se placer à proximité des preneurs de chaleur en construisant une fosse de relevage pour récupérer la chaleur des eaux usées.

1613 Au niveau du bâtiment

Il est également possible de récupérer 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 Thermocycle¹⁸. Elle peut également être acheminée vers une pompe à chaleur. Ce système est proposé par exemple par Biofluides Environnement, PME française.

¹⁸ <http://www.vega-energies.com/110/>

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 serpentín 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 23 : Power-pipe

ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

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.

1614 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 (Cf. Figure 24 ci-dessous).

La puissance disponible dépend de différents facteurs :

- le débit minimal par temps sec hivernal en sortie de STEP,
- la température minimale de l'eau en sortie de STEP,
- la température minimale de rejet des eaux épurées dans le milieu naturel, si une valeur limite est imposée par l'autorité compétente (protection des eaux de rivières, etc.)

La récupération de chaleur sur les eaux usées se fait via un échangeur de chaleur (échangeurs à plaques, échangeurs tubulaires, etc.). Positionner l'échangeur en sortie de STEP permet de réduire l'encrassement de celui-ci, par rapport à une installation en entrée de STEP ou au sein du process de celle-ci. En effet, les eaux en sortie de STEP ont été épurées et contiennent donc moins d'éléments susceptibles d'encrasser l'échangeur (particules, boues, sables, feuilles, etc.).



Figure 24 : Échangeur tubulaire en sortie de STEP (Lyonnaise des Eaux, ISTINOX, ANTEA)

ATOUTS

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.

162 GISEMENT

AU NIVEAU DE LA STATION D'EPURATION

La station d'épuration la plus proche est située à plus de 4 km de la ZAC. La mise en place d'une récupération de chaleur sur cette STEP ne semble donc pas pertinente.

SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT EXISTANT

Il n'y a pas de collecteurs existants passant à proximité immédiate de la ZAC ou sur la ZAC. Les collecteurs les plus proches n'ont pas un diamètre suffisant pour y installer un échangeur de chaleur. Leurs diamètres sont de 200-300 mm au maximum, alors que le seuil de faisabilité technique est de 800 – 1 000 mm dans l'existant.

SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT A CREER SUR LE SITE

Les réseaux à créer ne présenteront probablement pas un diamètre suffisant. Leur diamètre pourrait à la rigueur être surdimensionné pour accueillir un dispositif de récupération de chaleur, mais le débit ne serait a priori pas suffisant.

POUR DES INSTALLATIONS AU NIVEAU DU BATIMENT

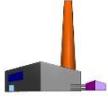
La seule contrainte à l'installation de systèmes individuels de récupération de chaleur sur eaux usées est la nécessité de séparer les eaux grises des eaux-vannes avant le dispositif. Si cela peut conduire à des coûts importants sur des bâtiments existants, cette contrainte engendre peu de surcoûts pour des bâtiments à construire.

163 POTENTIEL

La station d'épuration est trop éloignée. Les caractéristiques des réseaux d'assainissement existants et à créer ne permettent pas d'envisager leur utilisation pour l'alimentation de bâtiments.

Il est faisable a priori d'installer des systèmes de récupération de chaleur sur eaux usées au niveau du bâtiment sur les bâtiments ayant des besoins en eau chaude sanitaire.

1.7 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, réseaux de transport en lieu fermé, sites d'élimination comme les unités d'incinération de déchets, etc.).

1.7.1 GISEMENT

Un data center pourrait être implanté sur la ZAC de la Rucherie, sur la partie est au bord de l'autoroute.

Le DATAPARC serait alimenté par le poste source situé au Génitoy sur la Zone d'activité Gustave Eiffel (au nord de l'autoroute). Le transformateur qui alimenterait la ZAC devrait faire 70 MW dont 40 MW pour le DATAPARC. Les groupes froids du DATAPARC devraient utiliser la moitié de cette puissance, soit 20 MW.

Il est envisageable d'alimenter la ZAC en énergie thermique à partir de la chaleur récupérée sur les groupes froids en les équipant d'un système de récupération sur condenseur. Avec 20 MW froids au total, il est possible d'envisager une puissance de 2 MW chauds.

Même si les besoins de la ZAC ne sont pas encore dimensionnés, on peut d'ores et déjà affirmer qu'un réseau de chaleur alimenté par la chaleur fatale du potentiel data center pourrait couvrir tout ou partie des besoins en énergie thermique de la ZAC.

1.7.2 CONTRAINTES

Pour approvisionner la ZAC, il faut que les déploiements du DATAPARC et de la ZAC soient plus ou moins simultanés, et que se développent en premier lieu les bâtiments situés à proximité du DATAPARC.

1.7.3 POTENTIEL

Au vu des données connues à ce stade du projet, il semble possible de couvrir une partie des besoins de chaleur de la ZAC par le DATAPARC qui pourrait être implanté sur la zone, sous réserve que le développement de la ZAC soit conforme au déploiement du DATAPARC.

18 RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT

181 CONTEXTE



L'article L300-1 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.

182 GISEMENT

Il existe un réseau de chaleur alimenté par de la biomasse avec appoint gaz sur la ZAC du Sycomore pour couvrir ses besoins en chaleur.

La ZAC du Sycomore est située sur la commune de Bussy-Saint-Georges, à 500 mètres¹⁹ au nord de la ZAC de la Rucherie. L'autoroute et le Parc d'Activité Gustave Eiffel séparent les deux ZAC.

Les principales caractéristiques du réseau de chaleur au bois sont résumées ci-dessous :

Bâtiments desservis	Logements collectifs et intermédiaires, ainsi que deux groupes scolaires et des équipements publics en pied d'immeuble (crèche, médiathèque, conservatoire, piscine).
Dimensionnement	12 MW au total dont 4 MW bois en deux chaudières (1,5 MW + 2,5 MW)
Longueur du réseau	4,5 km environ
Nombre de sous-stations	Une trentaine
Maîtrise d'ouvrage	Privée : SEM Énergie Développement Local, constituée de la Ville et d>IDEX
Exploitation	SEM Énergie Développement Local
Avancement du projet	En exploitation
Phasage	Mise en service de la première chaudière : 2015 Mise en service de la deuxième chaudière : 2021 - 2023

Le réseau de chaleur de la ZAC du Sycomore pourrait être en capacité d'être étendu et raccordé à d'autres bâtiments en modulant la puissance des chaudières prévues ; il n'est par contre pas envisagé d'ajouter une troisième chaudière pour des questions de rentabilité et de contrainte foncière.

L'opportunité de cette extension est actuellement étudiée par le bureau d'études SERMET.

¹⁹ Entre les points les plus rapprochés des deux ZAC

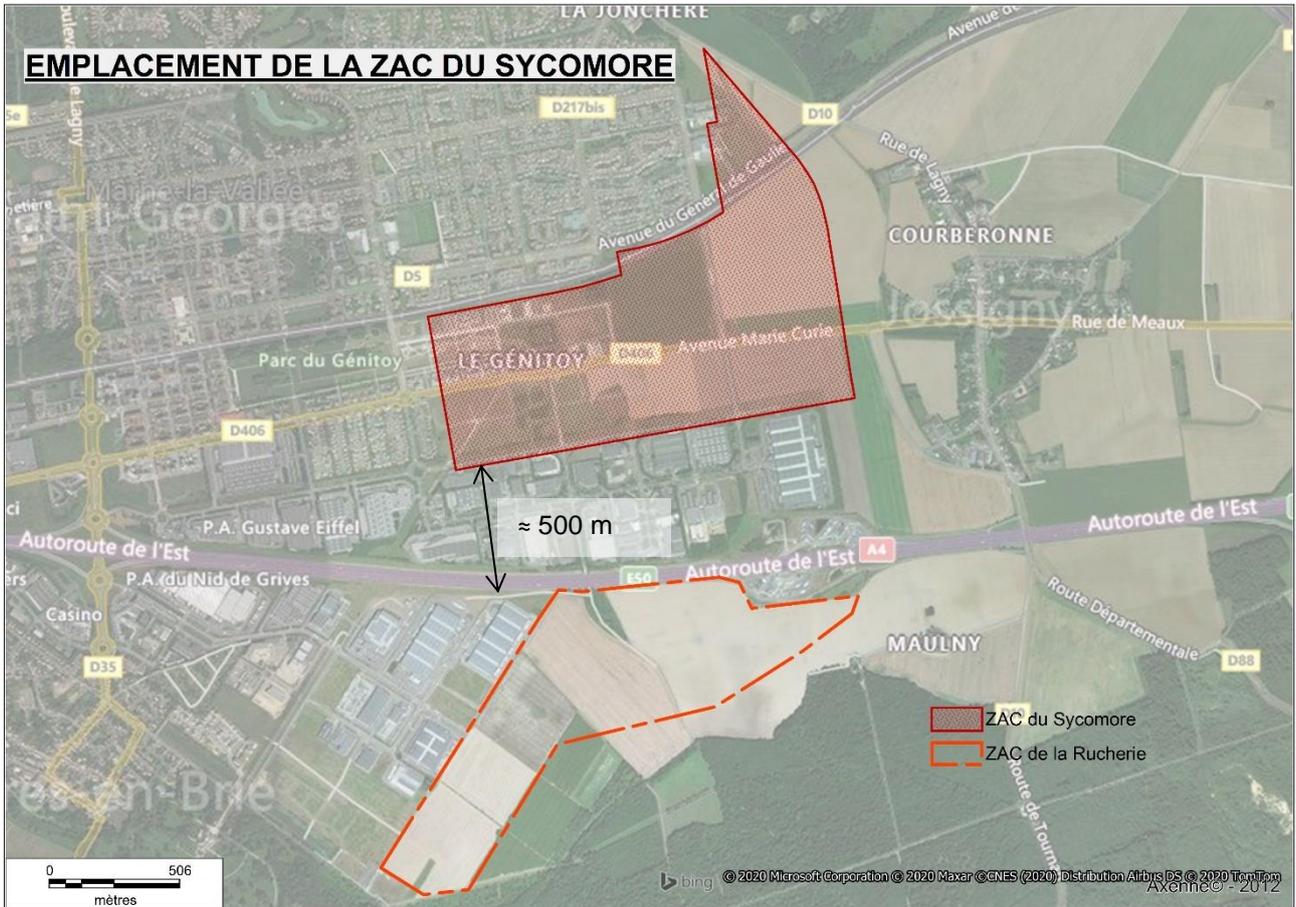


Figure 25 : Emplacement de la ZAC du Sycomore par rapport à la ZAC de la Rucherie

183 POTENTIEL

Le raccordement au réseau de chaleur de la ZAC du Sycomore est une potentialité qui semble **tout à fait intéressante**. Les conclusions de l'étude d'opportunité en cours permettront de valider ou d'invalider cette solution.

2 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE

2.1 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.

2.1.1 GISEMENT

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

Voir § 1.1 pour plus d'informations.

2.1.2 PRODUCTIBLE

PRODUCTION UNITAIRE : 1 kW_c

Une installation de 1 kW_c, soit 10 m² de modules photovoltaïques environ, inclinée à 35° et orientée plein sud, produit 930 kWh/an. À cette localisation, l'inclinaison de 35° est optimale pour la production d'énergie solaire. Contrairement au solaire thermique l'inclinaison est optimisée pour une production maximale sur l'ensemble de l'année.

La production est très variable dans l'année ; ainsi au mois de décembre où l'ensoleillement est d'environ 600 Wh/m².jour, l'installation produit environ 25 kWh, tandis qu'au mois de juillet 125 kWh sont produits sous un ensoleillement de 5 500 Wh/m².jour.

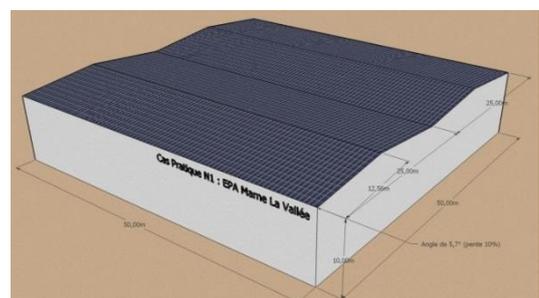
EXEMPLES D'INSTALLATIONS SUR UN BATIMENT TYPE ENTREPOT LOGISTIQUE

L'étude SOLAÏS de 2009 présente deux exemples d'installation sur un bâtiment type entrepôt logistique :

Premier exemple :

Bâtiment : L 50 m x l 50 m (S 2 500 m²) x H 10 m
4 pans de toiture : 2 pans est / 2 pans ouest
Pente de la toiture : 10%
Modules composés de cellules amorphes et microcristallines

Figure 26 : Cas pratique n°1 (étude SOLAÏS, 2009)



La « production totale » issue du générateur photovoltaïque est de 183 088 kWh pour 192,32 kW_c soit une performance moyenne de 952 kWh/kW_c.

Deuxième exemple :

Bâtiment : L 50 m x l 50 m (S 2 500 m²) x H 10 m
4 pans de toiture : 2 pans est / 2 pans ouest
Pente de la toiture : 5,6% (toiture terrasse)
Membranes d'étanchéité photovoltaïque

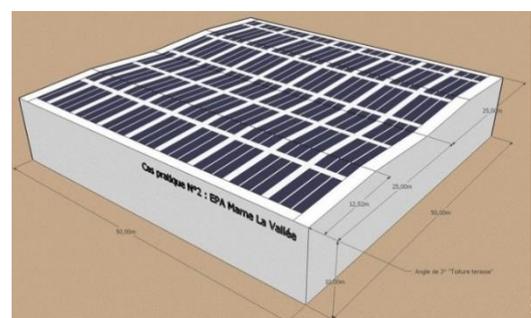


Figure 27 : Cas pratique n°1 (étude SOLAÏS, 2009)

La « production totale » issue du générateur photovoltaïque est de 66 330 kWh pour 71,4 kWc soit une performance moyenne de 929 kWh/kWc.

AUTRE EXEMPLE : LES OMBRIERES DE PARKING

Étant données les typologies des bâtiments attendues sur la ZAC (PME / PMI, bâtiment logistique), les surfaces réservées aux parkings seront certainement relativement importantes. De plus, ces parkings pourront difficilement être souterrains au vu des restrictions sur l'usage du sous-sol dues à la présence d'un captage d'eau potable à proximité. Ces parkings pourraient être couverts d'ombrières photovoltaïques ayant une double fonction : protéger les voitures des intempéries (soleil/pluie), mais surtout produire de l'électricité renouvelable.



213 CONTRAINTES

D'une manière générale, les contraintes sont les mêmes que pour la filière solaire thermique ; voir § 1.1.3.

214 POTENTIEL

Des panneaux solaires photovoltaïques peuvent être mis en place sur tous les bâtiments, dans la mesure où il n'y a pas de contraindication de la part de l'architecte des bâtiments de France. Les capteurs devront être intégrés à la construction et on évitera les covisibilités avec le Domaine de Ferrières.

La filière solaire photovoltaïque présente un gisement intéressant, et pourrait être sollicitée pour contribuer à l'approvisionnement en électricité du site.

22 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.

221 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.

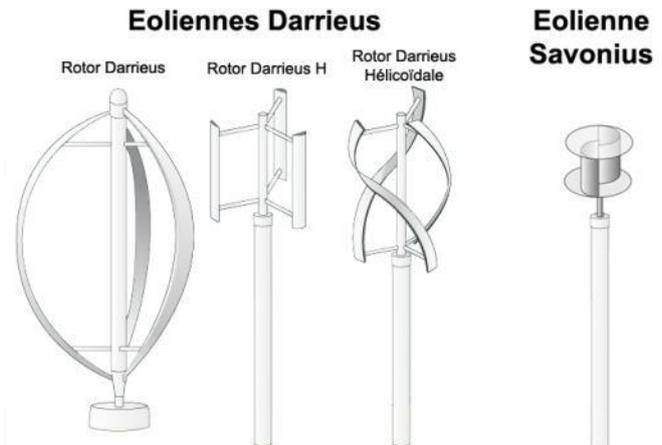


Figure 28 : Éoliennes de type Darrieus et Savonius

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.

222 GISEMENT

La station météorologique effectuant des mesures de vent est située à Torcy, à plus de 7 km de la ZAC. La station est trop éloignée pour que la rose des vents soit représentative du site de la ZAC.

223 PRODUCTIBLE

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.

Il est dans tous les cas 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.

224 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.

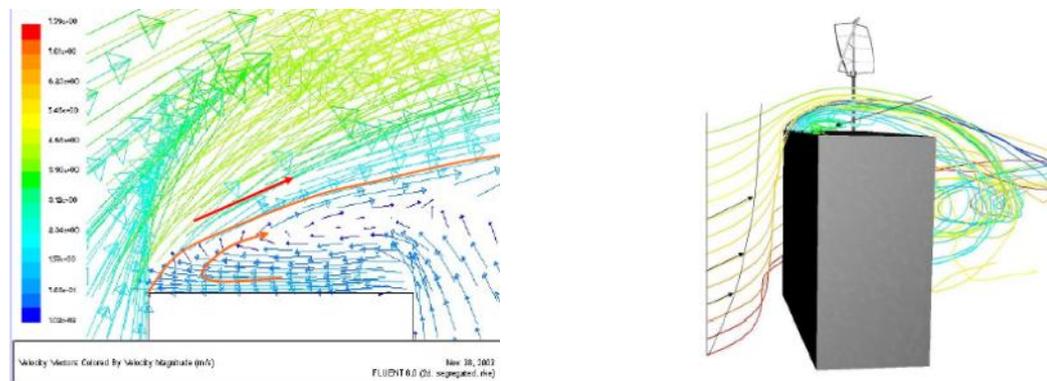


Figure 29 : Comportement du vent dans un environnement urbain (source : DVH)

- 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.

225 RÉGLEMENTATION

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.

226 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). Le gisement de vent n'est pas connu sur le site.

23 HYDROELECTRICITE

Il n'y a pas de potentiel exploitable à proximité du site.

24 ENERGIES MARINES

Il n'y a pas de potentiel exploitable à proximité du site.

3 FILIERE DE PRODUCTION DE BIOGAZ

3.1 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.

La formation de biogaz est un phénomène naturel que l'on peut observer par exemple dans les marais. Elle apparaît également dans les décharges contenant des déchets organiques.

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 19 mai 2011 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations qui valorisent le biogaz.
- L'arrêté du 23 novembre 2011 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.

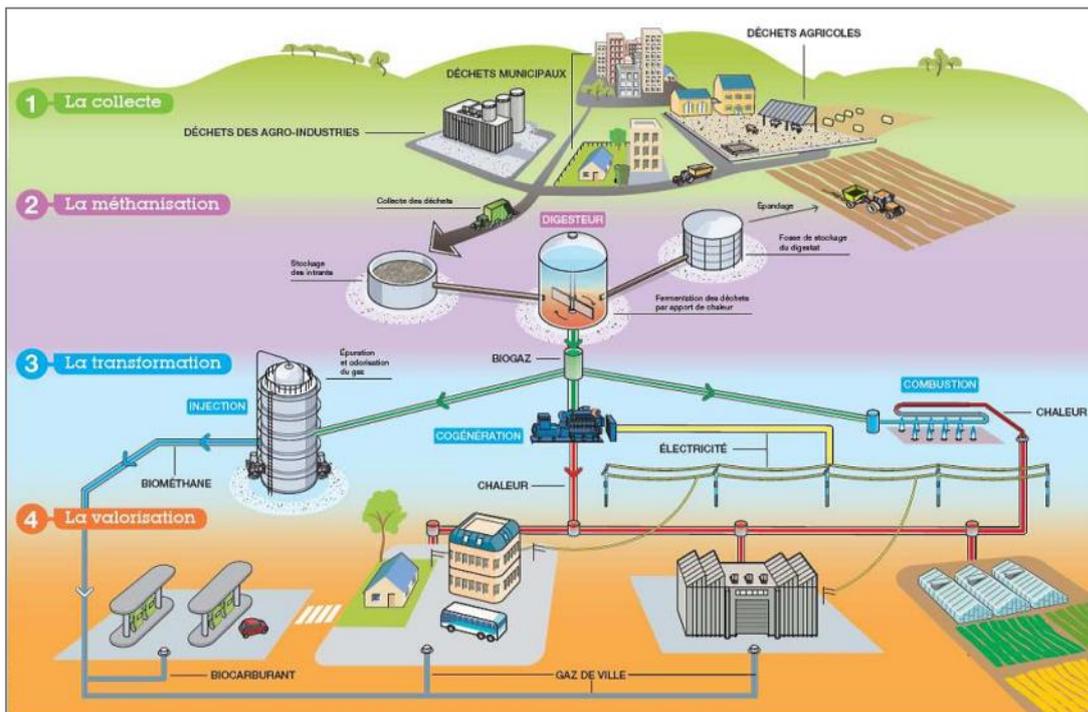


Figure 30 : Les étapes de la méthanisation (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement)

311 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 pas oublier qu'un projet de méthanisation nécessite une surface foncière minimale de 2 000 m²²⁰, ainsi qu'un éloignement minimal de 50 mètres des habitations avoisinantes²¹.

La méthanisation des boues issues de la station d'épuration pourrait ainsi être envisagée mais nécessiterait également l'apport de biomasse externe issue de productions agricoles par exemple et la définition d'un schéma d'approvisionnement pérenne.

312 POTENTIEL

La seule possibilité pour l'opération d'être alimentée grâce à la méthanisation serait d'intégrer cette technologie au mix énergétique d'un réseau de chaleur. Cette solution pourrait être intéressante mais à une échelle beaucoup plus large que le quartier seul et à condition que la consommation de chaleur du réseau soit à peu près constante toute l'année. Toutefois, du fait de la proximité du captage d'alimentation en eau potable, il ne semble pas possible de mettre en place une installation de méthanisation sur la ZAC.

²⁰ Source : RAEE
²¹ Arrêtés du 10/11/2009 et 12/08/2010

4 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	<ul style="list-style-type: none"> Gisement intéressant Périmètre de monument historique à prendre en compte sur une petite zone au sud de la ZAC
		BOIS ENERGIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> Ressources et offre disponibles
		GÉOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> Potentiel moyen a priori Contraintes a priori trop importantes sur la partie nord du site (AEP) Test en réponse thermique nécessaire
		HYDROTHERMIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> Potentiel favorable sur nappe superficielle ou intermédiaire Études hydrogéologiques complémentaires à mener
		AEROTHERMIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> Sur air extérieur : uniquement en mi-saison avec appoint Sur air vicié : selon les besoins des bâtiments
		INDIVIDUEL	Oui	<ul style="list-style-type: none"> Séparation des eaux vannes et des eaux grises avant le dispositif
		SUR COLLECTEURS	Non	<ul style="list-style-type: none"> Caractéristiques des collecteurs existants et à créer insuffisantes
		SUR STEP	Non	<ul style="list-style-type: none"> Stations d’épuration trop éloignée
	CHALEUR FATALE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> Gisement intéressant si le datacenter est effectivement implanté sur la ZAC Le développement du datacenter et des autres bâtiments de la ZAC doivent être simultanés 	
	RESEAU DE CHALEUR EXISTANT	Oui	<ul style="list-style-type: none"> Opportunité de raccordement au réseau de la ZAC du Sycomore Etude technico-économique en cours afin de valider la faisabilité 	
ÉLECTRICITE		SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> Gisement intéressant Périmètre de monument historique à prendre en compte sur une petite zone au sud de la ZAC
		ÉOLIEN URBAIN	Non connu	<ul style="list-style-type: none"> Valeur d’exemplarité uniquement
		GRAND EOLIEN	Non	<ul style="list-style-type: none"> Proximité d’habitations
BIOGAZ		METHANISATION	Non	<ul style="list-style-type: none"> Pas à privilégier en première approche

