

# **ZAC MIONNAY**

## **PAE DE LA DOMBES**



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

JUILLET 2020

AXENNE



**MAITRE D'OUVRAGE**    **GLB SAS**  
13 rue Dr Lancereaux  
75 008 PARIS

**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	Juin 2020	Rendu initial	M. ESPARCIEUX M.DUPLUS
2	Juillet 2020	Corrections	M. ESPARCIEUX M.DUPLUS

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>6</b>
<b>CONTEXTE</b>	<b>7</b>
<b>1 CONTEXTE REGLEMENTAIRE</b>	<b>7</b>
1.1 ETUDE DE FAISABILITE ENERGIES RENOUVELABLES ET RESEAUX DE CHALEUR	7
1.2 REGLEMENTATION THERMIQUE 2012	7
1.3 LA FUTURE REGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE 2020	8
<b>2 PRISE EN COMPTE DES AMBITIONS NATIONALES ET LOCALES DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES</b>	<b>8</b>
2.1 AMBITIONS NATIONALES	8
2.2 AMBITIONS REGIONALES	9
2.3 AMBITIONS DE L'EPCI	9
<b>PRESENTATION DU SITE</b>	<b>11</b>
<b>3 LOCALISATION</b>	<b>11</b>
<b>4 ACCESSIBILITE</b>	<b>11</b>
<b>5 TOPOGRAPHIE</b>	<b>11</b>
<b>6 OCCUPATION DU SOL</b>	<b>11</b>
<b>7 PROGRAMMATION</b>	<b>12</b>
<b>8 PHASAGE – PERFORMANCE DES BATIMENTS</b>	<b>12</b>
<b>9 BATIMENTS EXISTANTS A PROXIMITE</b>	<b>12</b>
<b>OPPORTUNITÉ DE RÉSEAUX DE CHALEUR OU DE FROID</b>	<b>14</b>
<b>1 BESOINS ENERGETIQUES</b>	<b>14</b>
<b>2 OPPORTUNITE DE RESEAU DE CHALEUR OU DE FROID</b>	<b>15</b>
<b>GISEMENT DISPONIBLE EN ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION</b>	<b>17</b>
<b>1 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE THERMIQUE</b>	<b>17</b>
1.1 ÉNERGIE SOLAIRE	17
1.2 BIOMASSE COMBUSTIBLE	22
1.3 GEOTHERMIE	26
1.4 HYDROTHERMIE	30
1.5 AEROTHERMIE	33
1.6 RECUPERATION DE CHALEUR SUR EAUX USEES	34
1.7 CHALEUR FATALE	40
1.8 RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT	41
<b>2 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE</b>	<b>42</b>
2.1 ÉNERGIE SOLAIRE	42
2.2 ÉNERGIE EOLIENNE	43

2.3	HYDROELECTRICITE	45
2.4	ENERGIES MARINES	45
<b>3</b>	<b>FILIERE DE PRODUCTION DE BIOGAZ</b>	<b>46</b>
3.1	BIOMASSE METHANISABLE	46
<b>4</b>	<b>RECAPITULATIF DES POTENTIALITES DU TERRITOIRE</b>	<b>48</b>
<b>SCENARIOS D'APPROVISIONNEMENT ENERGETIQUE</b>		<b>49</b>
<b>1</b>	<b>LES DIFFERENTS SYSTEMES ADAPTES</b>	<b>49</b>
<b>2</b>	<b>PROPOSTION DE SCENARIOS</b>	
<b>3</b>	<b>SCENARIO 1 : SOLUTION GEOTHERMIQUE</b>	
3.1	DESCRIPTION	
3.2	CONSOMMATIONS ENERGETIQUES	
3.3	HYPOTHESES ECONOMIQUES	
<b>4</b>	<b>SCENARIO 2 : SOLUTION DE REFERENCE AU GAZ NATUREL ET AEROTHERMIE</b>	
4.1	DESCRIPTION	
4.2	CONSOMMATIONS ENERGETIQUES	
4.3	HYPOTHESES ECONOMIQUES	
<b>5</b>	<b>HYPOTHESES COMMUNES AUX 2 SCENARIOS</b>	
<b>6</b>	<b>COMPARAISON DES SCENARIOS</b>	
6.1	SUR LE PLAN ECONOMIQUE	
6.2	SUR LE PLAN ENVIRONNEMENTAL	
6.3	AUTRES CRITERES D'ANALYSE	
<b>PRECONISATIONS POUR LIMITER LES IMPACTS ENERGETIQUES DU PROJET</b>		<b>55</b>
<b>1</b>	<b>PISTES D' ACTIONS POUR LA MAITRISE DE L'ENERGIE ET LA SOBRIETE ENERGETIQUE</b>	<b>55</b>
1.1	ORIENTATION ET BIOCLIMATISME	55
1.2	PERFORMANCE ENERGETIQUE DU BATIMENT	56
<b>2</b>	<b>RECOMMANDATIONS POUR FAVORISER L'INTEGRATION DES ENR DANS LA CONCEPTION</b>	<b>57</b>
2.1	DENSITE DU BÂTI ET RESEAUX DE CHALEUR	57
2.2	MODULES PHOTOVOLTAÏQUES	57
<b>3</b>	<b>LES SMART-GRIDS</b>	<b>57</b>
3.1	BATIMENT INTELLIGENT	58
3.2	QUARTIER INTELLIGENT	58
3.3	LE STOCKAGE D'ELECTRICITE	59
<b>ANNEXES</b>		<b>60</b>
<b>A.</b>	<b>METHODOLOGIE POUR EVALUER LA PERTINENCE D'UN RESEAU DE CHALEUR</b>	<b>60</b>
<b>B.</b>	<b>DEFINITION DES ENERGIES DITES UTILES, FINALES, PRIMAIRES</b>	<b>61</b>
<b>C.</b>	<b>METHODOLOGIE POUR L'ESTIMATION DES BESOINS ENERGETIQUES</b>	<b>63</b>
<b>D.</b>	<b>PRESENTATION DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE 2012 ET DES LABELS EFFINERGIE</b>	<b>68</b>
<b>E.</b>	<b>LES BATIMENTS A ENERGIE POSITIVE (BEPOS) – LE REFERENTIEL ENERGIE CARBONE (E+C-)</b>	<b>74</b>
<b>F.</b>	<b>Liste des fournisseurs locaux de bois energie</b>	<b>78</b>

**G. PRESENTATION DES SYSTEMES THERMIQUES EN RESEAU**

**79**

# 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 de faisabilité sur le potentiel de développement des énergies renouvelables, l'aménageur GLB Aménagement pourra analyser les atouts et les contraintes quant à la valorisation du potentiel de ces énergies sur le territoire d'implantation de la zone d'aménagement. L'optimisation du recours aux énergies renouvelables permettra de réduire la part des énergies fossiles traditionnellement utilisées.

Cette étude reprend et complète celle qui avait été menée dans le cadre du projet au stade de l'étude d'impact menée en 2015 et jointe au dossier d'enquête publique préalable à la DUP, pour tenir compte des évolutions jusqu'au stade du dossier de réalisation de la ZAC, principalement en matière de densification du parc d'activités.

Le présent rapport présente la ZAC (localisation, programmation) avant d'étudier la faisabilité d'un réseau de chaleur alimentant les bâtiments du parc d'activités économiques et rappelle les gisements d'énergies renouvelables identifiés par l'étude de 2015. Dans un second temps, des solutions d'approvisionnement énergétique des bâtiments de la ZAC sont présentées, et comparées à une solution de référence.

# CONTEXTE

## 1 CONTEXTE REGLEMENTAIRE

Les projets sur la ZAC doivent avant tout chose respecter la réglementation en terme de :

- ICPE
- Code du Travail
- Code de la Construction
- PLU et CPAUPE

### 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<sup>er</sup> 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<sup>er</sup> 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).

### 1.3 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 2020, dont les textes doivent être publiés à la mi-2020, devra fixer deux grandes orientations pour la construction neuve :

- La généralisation des bâtiments à énergie positive.
- Le déploiement de bâtiments à faible empreinte carbone tout au long de leur cycle de vie, depuis la conception jusqu'à la démolition.

Dans ce but, un référentiel a été constitué, le référentiel Energie positive, Réduction Carbone ou Energie-Carbone (E+C-). Ce référentiel représente un cadre technique permettant d'évaluer la performance des bâtiments selon les deux axes énergétiques et émissions de gaz à effet de serre ainsi que des niveaux de performance classés de 1 à 4 pour l'énergie et 1 à 2 pour le carbone.

Concernant la partie Energie, le référentiel propose de réaliser le bilan des consommations et des productions d'énergie au niveau du bâtiment en énergie primaire et de comparer ce bilan à 4 seuils de références ayant des valeurs décroissantes.

En ce qui concerne la performance thermique du bâtiment, celui-ci doit respecter au minimum le niveau RT 2012. De plus, le bilan total des consommations d'énergie (incluant en plus des 5 usages réglementaires de la RT2012 les usages mobiliers : cuisson, appareils électroménagers, etc. et les usages liés aux parties communes : éclairage des parties communes, ascenseurs, éclairage et ventilation des parkings) et comparé au bilan des productions du bâtiment (photovoltaïque, petit éolien, cogénération, etc.) afin d'atteindre un niveau global.

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

### 2.1 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 immeubles pour des activités de négoce ou de E-commerce, 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.

## 2.2 AMBITIONS REGIONALES

La Région Auvergne-Rhône-Alpes a adopté lors de sa session des 19 et 20 Décembre 2019 les objectifs énergétiques du SRADDET dans le cadre de sa démarche "Ambition Territoires 2030". Ceux-ci visent la triple ambition d'améliorer le cadre de vie des habitants de la région, d'éclairer l'avenir et prévoir les grandes mutations en matière d'infrastructures, de changement climatique, et enfin de rechercher l'équilibre des territoires, en soutenant les territoires ruraux, en développant des sites à enjeux et en s'ouvrant à l'Europe.

Le SRADDET fixe un objectif de réduction de la consommation d'énergie finale de 23% par habitant d'ici 2030.

Concernant le développement des énergies renouvelable, l'objectif est d'augmenter de 54% la production d'énergies renouvelables (électriques et thermiques). Parmi les ressources qui devront être mobilisées pour cela on retrouve le photovoltaïque, l'hydroélectricité, l'éolien, la récupération de chaleur (chaleur fatale, géothermie et aérothermie), le solaire thermique, la méthanisation, etc.

## 2.3 AMBITIONS DE L'EPCI

Afin de généraliser les politiques de lutte contre le changement climatique et la pollution de l'air, la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) du 17 août 2015 confie l'élaboration et la mise en œuvre des Plans Climat aux seuls établissements publics de coopération intercommunale.

Le Plan Climat Air Énergie Territorial de la Communauté de Communes de la Dombes est en cours de finalisation, avec pour objectif sa soumission à l'autorité environnementale avant 2021. Les actions qui y sont présentées s'inscriront dans la transition écologique, avec une volonté de coordonner les acteurs locaux, et ainsi atteindre les objectifs de la Stratégie Nationale Bas Carbone. Une coordination sera aussi effectuée avec le Plan d'Actions pour l'Énergie Durable de la Dombes, porté depuis une dizaine d'années.

Parmi les principaux leviers à actionner identifiés comme prioritaires dans le cadre du projet :

- **La production d'énergie solaire photovoltaïque sera optimisée sur la zone, de par la conception des bâtiments, avec un taux de couverture pouvant aller au-delà des 30% imposés par l'article L111-18-1 du code de l'urbanisme pour ceux de plus de 1000m<sup>2</sup> ;**
- La biomasse locale pourra être massivement utilisée pour alimenter les chaudières bois des différents bâtiments ;
- Les équipements d'éclairage seront conçus et programmés de manière à réduire au maximum la pollution lumineuse ;
- La gestion des eaux pluviales ;
- Les connexions « mode doux » avec la desserte ferroviaire locale, ainsi qu'une promotion du covoiturage auprès des futurs employés locaux.

# PRESENTATION DU SITE

## 3 LOCALISATION

La ZAC est située au sud-ouest de la commune de Mionnay.  
Elle est délimitée par l'A46 à l'ouest, la D38 au nord et une surface boisée à l'est.  
L'ensemble de la ZAC représente une zone de 28 ha.



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

## 4 ACCESSIBILITE

Le site sera desservi au nord par le giratoire sur la RD38. Une étude a été faite sur ce giratoire pour en connaître le diagnostic circulatoire. Les résultats sont satisfaisants quant à ses réserves de capacités, suffisantes pour ne pas détériorer le trafic lorsque la ZAC sera fonctionnelle.

## 5 TOPOGRAPHIE

L'altitude du site se situe entre 300 et 315 m ; le terrain est globalement plat sur la zone de construction mais présente une légère pente (maximum 5%) de l'est vers l'ouest.

## 6 OCCUPATION DU SOL

Le secteur d'étude est un espace ouvert à caractère principalement agricole. Sur sa frontière ouest, le secteur est délimité par l'A46, avec l'aire de Mionnay à proximité plus au Nord. À l'est se situe une zone

forestière, le bois du Riollet. On retrouve aussi non loin de là, au sud-est la gare ferroviaire de Les Échets ainsi que la zone résidentielle associée, avec quelques espaces agricoles.

## 7 PROGRAMMATION

Le plan masse pris en compte est celui au stade du dossier de réalisation de la ZAC.



La ZAC a vocation à accueillir des bâtiments à usage industriels, de E-commerce et de négoce industriel.

Concernant les « petits » lots C1 à C5, on considère que 50% de la surface de plancher sera occupée par des bureaux soit de l'ordre de 2 700 m<sup>2</sup>. Sur les 50% restants, ainsi que sur la majorité de la surface des grands lots, on considère que les bâtiments seront dédiés à des locaux de type industriels ou immeubles pour des activités de négoce ou de E-commerce ayant des besoins de chauffage très faibles voir nuls et qui seront couverts par des systèmes individuels type émetteurs radiants. Sur les « grands lots » F1 à 3, la surface de bureaux indicative est précisée sur le projet de plan masse, soit environ 10 900 m<sup>2</sup>.

La surface de plancher restante correspondante aux locaux industriels ou immeubles pour des activités de négoce ou de E-commerce représente 93 700 m<sup>2</sup>.

## 8 PHASAGE – PERFORMANCE DES BATIMENTS

Les bâtiments de la ZAC verront leurs PC déposés courant 2020 et respecteront par conséquent la norme en vigueur au moment de leur dépôt.

## 9 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.

Aux abords de la ZAC on trouve différentes zones aménagées présentant les typologies suivantes :

- ▶ **Habitat diffus** : il s'agit de maisons individuelles, en lotissement ou non, qui présentent une faible densité de construction et également une faible densité énergétique. Les maisons individuelles ne sont pas considérées comme potentiellement raccordables à un réseau de chaleur.
- ▶ **Aire d'autoroute** : aucun de ces bâtiments n'a a priori de consommations d'énergie particulièrement élevées. Ces bâtiments ne sont pas considérés comme potentiellement raccordables à un réseau de chaleur.

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.

# OPPORTUNITÉ DE RÉSEAUX DE CHALEUR OU DE FROID

L'objectif de ce paragraphe est de calculer en première approche la densité énergétique du site afin de statuer sur la pertinence d'un réseau de chaleur. Dans l'affirmative, les solutions proposées intégreront cette potentialité. Dans la négative, les solutions proposées utiliseront uniquement des installations à l'échelle du bâtiment.

La création d'un réseau de chaleur raccordant tous ou une partie des bâtiments du PAE de la Dombes présente en effet plusieurs intérêts :

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

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

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

## 1 BESOINS ENERGETIQUES

Les consommations finales d'énergie des bâtiments ont été calculées en supposant que le réseau de chaleur envisagé a un contenu CO<sub>2</sub> inférieur à 50 grammes par kilowattheure. Ce réseau de chaleur couvre les besoins de chauffage de tous les bâtiments, ainsi que les besoins en eau chaude sanitaire des logements (les besoins en eau chaude sanitaire des commerces et des bureaux sont trop faibles pour envisager une mutualisation ; ils sont couverts par des équipements indépendants électriques à semi-accumulation).

*La méthodologie employée pour l'estimation des besoins énergétiques est décrite en annexe C.*

Les consommations de chaleur et de froid de l'ensemble des locaux à usage de bureau sont de 600 MWh/ef par an :

- 360 MWh/ef par an pour le chauffage et les auxiliaires,
- 20 MWh/ef par an pour l'eau chaude sanitaire,
- Les consommations d'énergie pour la climatisation sont estimées à 50 MWh/ef par an.

Chauffage	ECS	Climatisation	Total chaleur/froid
360 MWh/ef	20 MWh/ef	50 MWh/ef	430 MWh/ef
84%	5%	12%	100%

**Figure 2 : Récapitulatif des consommations finales pour un réseau de chaleur dont le contenu CO<sub>2</sub> du kWh est inférieur à 50 grammes par type de bâtiment**

Les locaux dont la température d'utilisation est inférieure à 12°C ne sont pour l'instant pas soumis à la réglementation thermique, de même que les locaux équipés de systèmes de chauffage à des fins de process (régulation en température, en hygrométrie pour la conservation, la peinture, etc.). Ainsi les locaux à usage d'activité ou d'immeubles pour des activités de négoce ou de E-commerce sont susceptibles d'avoir des consommations très faibles, voir ne pas être chauffés du tout. A l'inverse, certains de ces bâtiments industriels pourront présenter des consommations beaucoup plus importantes si les équipements sont utilisés pour le maintien à haute température des locaux par exemple (pour des besoins de séchage ou de conservation par exemple). Certaines activités peuvent également avoir des besoins spécifiques de chaleur ou de froid liés aux procédés de fabrication par exemple.

## 2 OPPORTUNITE DE RESEAU DE CHALEUR OU DE FROID

### RESEAUX POTENTIELS SUR LE SITE



Figure 3 : Tracé et extensions du réseau de chaleur potentiel

Le réseau de chaleur présenté couvre les besoins de chauffage de l'ensemble des bâtiments à usage de bureaux. La couverture des besoins de chauffage des autres bâtiments et la couverture des besoins en eau chaude sanitaire n'a pas été retenue car elle trop faible pour qu'il soit intéressant de créer un réseau interne centralisé.

La longueur du réseau envisagé présente une longueur d'environ 870 ml. Au vu des consommations en énergie retenues pour les seuls bureaux et des longueurs des tracés, le réseau de chaleur potentiel présente une densité énergétique de 0,49 MWh<sub>ef</sub>/ml.an.

**La densité énergétique thermique trouvée est insuffisante pour envisager un réseau de chaleur** quelle que soit la configuration envisagée ; elle est en effet très inférieure au seuil imposé pour bénéficier du Fonds

Chaleur (la densité énergétique minimum demandée par l'ADEME pour bénéficier du Fonds Chaleur est de 1,5 MWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an).

### **RESEAU POTENTIEL RACCORDANT DES BATIMENTS A PROXIMITE**

Comme nous l'avons vu précédemment (voir § 9 page 12) peu de bâtiments à proximité du site présentent des consommations de chaleur et/ou de froid importantes.

### **PERTINENCE D'UN RESEAU DE CHALEUR OU DE FROID**

La mise en place d'un réseau de chaleur sur l'ensemble des bâtiments semble peu intéressante en première approche, la densité linéique potentielle étant très faible.

# 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 Lyon/Satolas, Ambérieu, Lyon/Bron.

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 : Mionnay				
Altitude : 306 m				
Latitude : 45,88 °				
Longitude : 4,90 °				
MOIS	Ensoleillement à l'horizontale (en Wh/(m².j))	Température mini	Température moyenne	Température maxi
Janv	1 097	0,3	3,5	6,6
Févr	1 699	0,9	4,6	8,3
Mars	3 129	4,0	8,4	12,7
Avr	4 767	7,0	11,6	16,2
Mai	5 323	11,5	16,1	20,7
Juin	6 167	14,9	19,8	24,7
Juil	6 548	16,5	21,4	26,2
Août	5 129	15,8	20,7	25,6
Sept	4 067	11,9	16,5	21,1
Oct	2 355	9,3	13,3	17,3
Nov	1 367	4,1	7,6	11,0
Déc	903	0,4	3,8	7,2
Total annuel : 1298 kWh/(m².an)				
Sources : ensoleillement (période 1991 - 2010) / températures (période 2000 - 2009) - Météonorm V7				

Figure 4 : Données mensuelles d'ensoleillement et de température

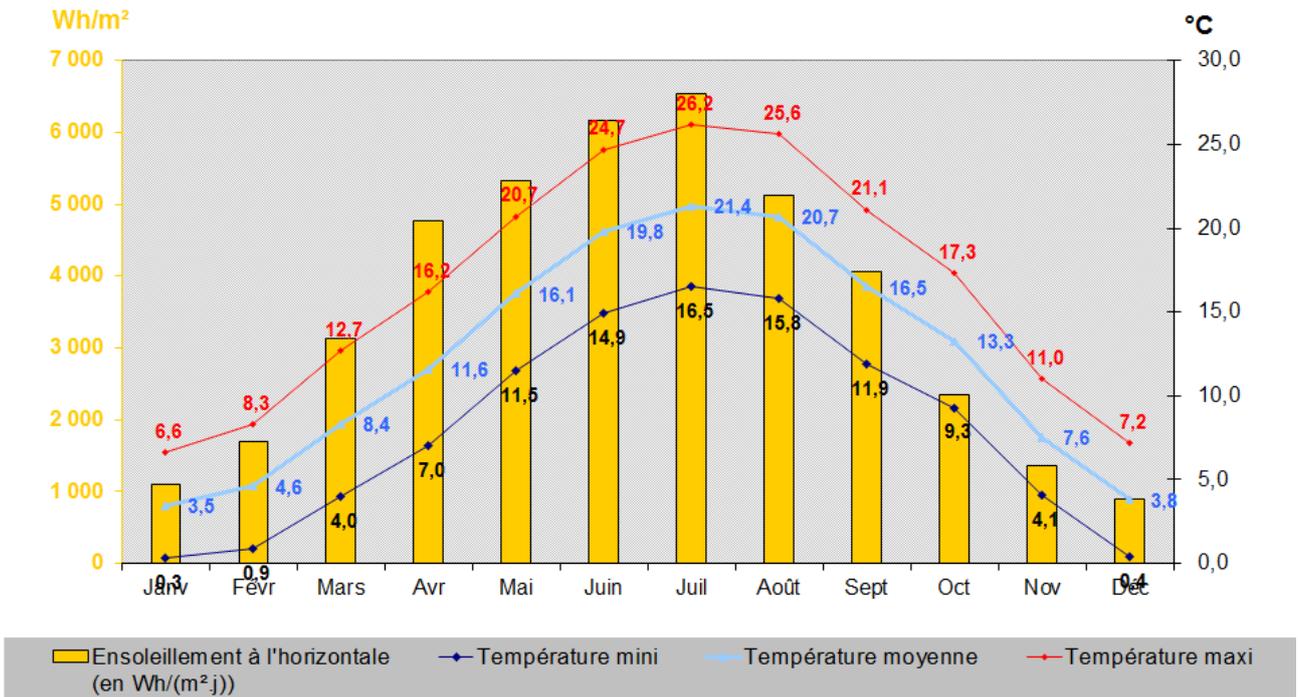


Figure 5 : Courbes mensuelles d'ensoleillement et de température à Mionnay

### 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.

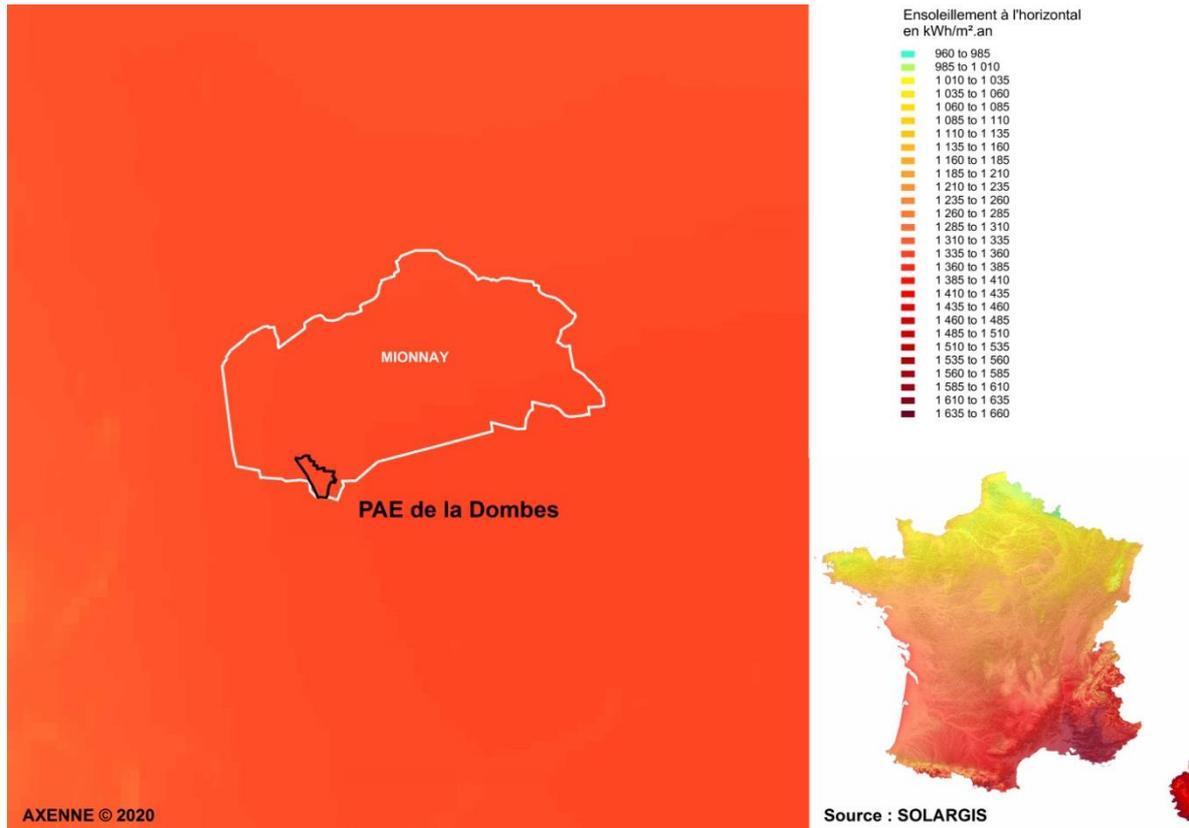


Figure 6 : Ensoleillement moyen annuel sur le territoire, prise en compte du relief

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 autour de la moyenne nationale de 1300 kWh/m<sup>2</sup> par an sur l'ensemble du site.

### 1.1.2 PRODUCTIBLE

Une installation solaire thermique peut être utilisée pour alimenter en eau chaude des bureaux, si ceux-ci présentent des consommations importantes et régulières 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/m<sup>2</sup>.



Figure 7 : Capteur solaire thermique à tubes sous vide

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

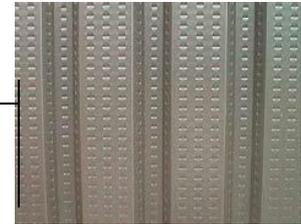
Le capteur le plus communément utilisé pour le chauffage de l'air de ventilation est le capteur solaire à plaque perforée sans vitrage, et cela, grâce à son faible coût, à sa grande efficacité ainsi qu'à sa facilité d'installation.

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



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

### 1.1.3 CONTRAINTES

#### 1.1.3.1 Contraintes réglementaires

##### CONTEXTE

Dans l'objectif de protéger et conserver le patrimoine bâti présentant une importance particulière, différents types de protection existent en France : secteur sauvegardé, site classé, AVAP (Aires de mise en valeur de l'architecture et du patrimoine) ou ZPPAUP (Zone de Protection du Patrimoine architectural, Urbain et Paysager), 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

L'emprise de la ZAC est située hors de toutes zones de protection du patrimoine (sites inscrits, sites classés, site patrimonial remarquable). Les monuments historiques présents autour du site sont situés à plus de 500 m. Le site inscrit « Marais des Échets » se trouve à 750m du site.

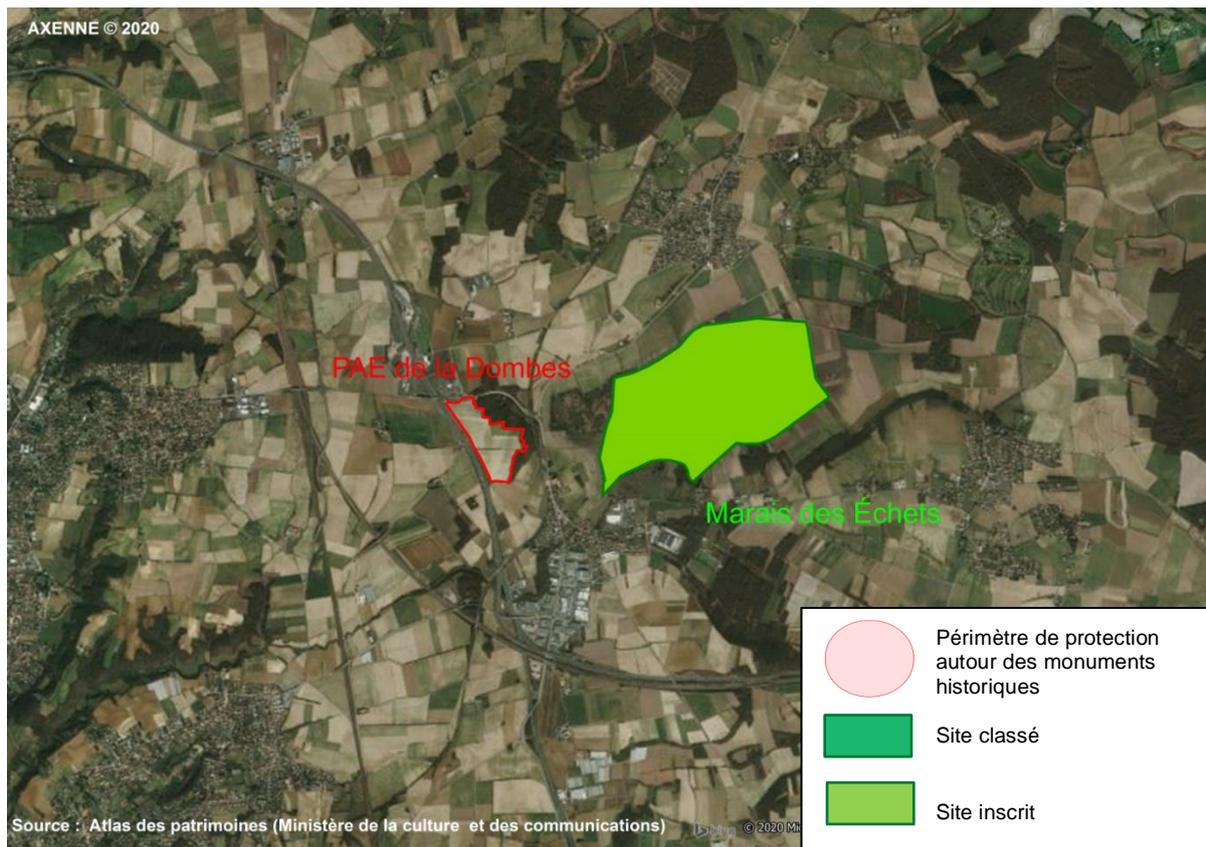


Figure 8 : Patrimoine aux abords de la ZAC

### 1.1.3.2 Contraintes physiques

D'une manière générale et dans la mesure du possible, il est préférable de placer les bâtiments les plus hauts au nord afin d'éviter qu'ils ne projettent leurs ombres sur les bâtiments plus bas dont la toiture ne pourrait alors pas être équipée de capteurs solaires.

## 1.1.4 POTENTIEL

Des capteurs solaires thermiques peuvent être mis en place sur tous les bâtiments, il n'y a pas de contraintes réglementaires.

Toutefois, il semble que les besoins en ECS du site ne seront pas assez élevés pour atteindre un seuil de rentabilité pour ce type d'installations.

## 1.2 BIOMASSE COMBUSTIBLE



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

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

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

### 1.2.1 GISEMENT

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

Le gisement est constitué de la ressource forestière (taillis, rémanents d'exploitation, etc.), mais également des sous-produits des industries du bois (sciures, copeaux, écorces, dosses, etc.), des bois de rebut non souillés (palettes, cagettes, etc.) et des résidus d'élagage. La plupart de ces matériaux doivent être transformés avant d'être utilisés dans une chaudière.

On considère en première approche que l'approvisionnement en combustible bois d'origine forestière est intéressant jusqu'à une distance de 50 km ; au-delà, deux problèmes se posent :

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

#### **Ressource forestière :**

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

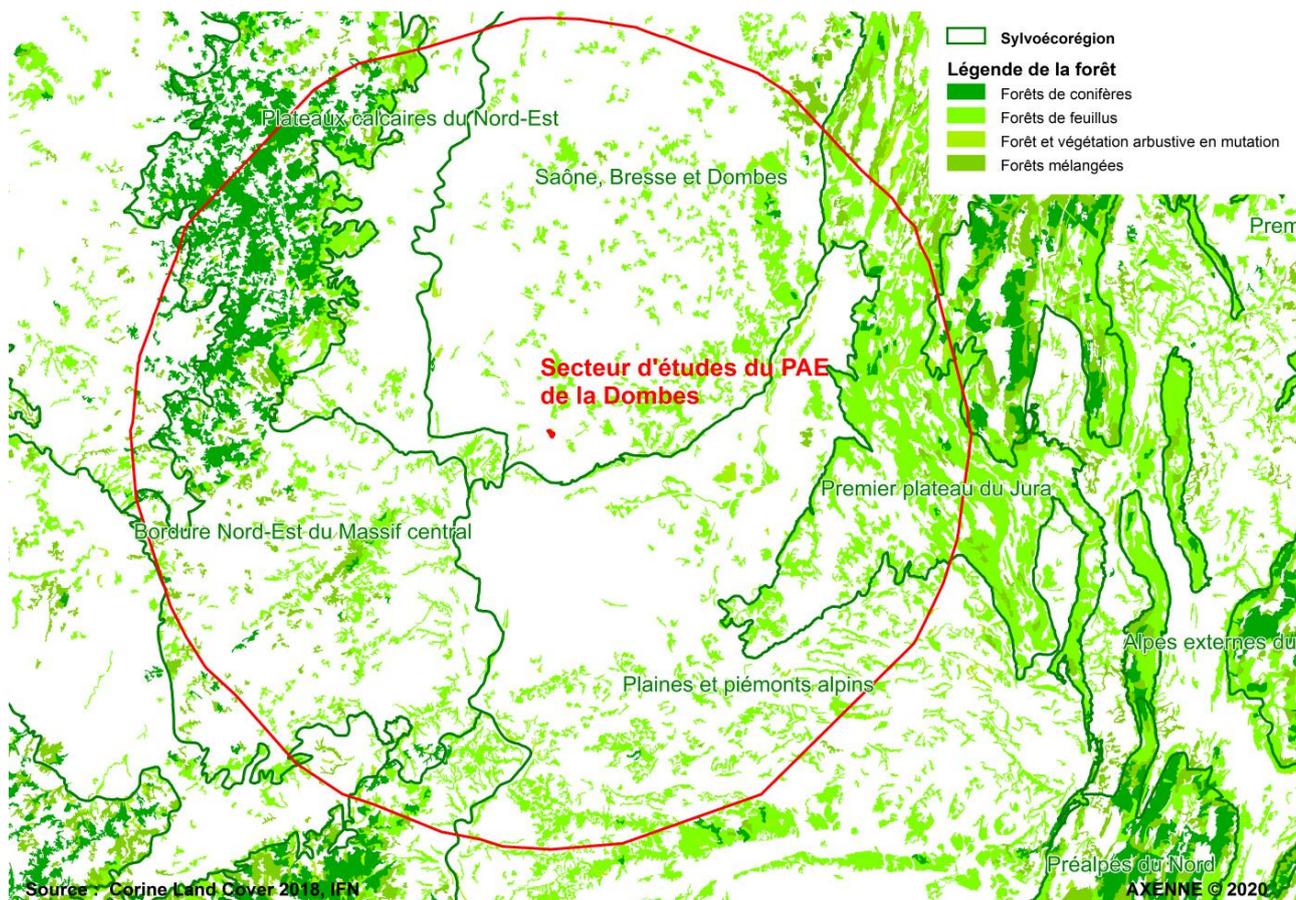


Figure 9 : La forêt et les régions forestières autour du site (carte : AXENNE)

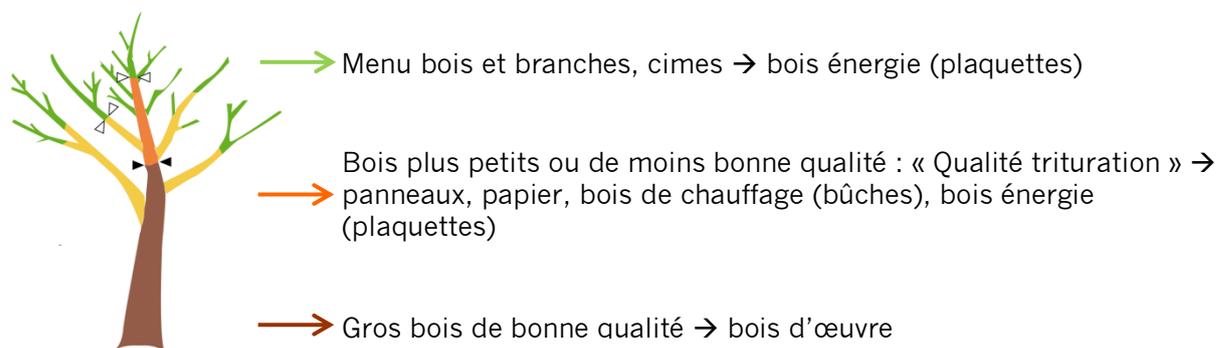
Le site du projet se trouve dans la sylvoécocorégion Saône, Bresse et Dombes. Il s’agit de territoires peu boisés, présentant un taux de boisement de plus de 26%<sup>1</sup> sur sa surface totale, mais qui semble moindre plus localement. Dans un rayon de 50 km on retrouve également des sylvoécocorégions plus boisées :

REGION FORESTIERE	TAUX DE BOISEMENT
Premier plateau du Jura	52%
Plateaux calcaires du Nord-Est	37%
Bordure Nord-Est du Massif Central	35%
Plaines et piémonts alpins	24%

Figure 10 : Taux de boisement des régions forestières présentes dans un rayon de 50 km (source : IFN)

La présence de bois est avérée sur la zone d’étude. La ressource forestière est mobilisée pour différents usages selon la qualité des bois. La production de plaquettes pour un usage en bois énergie provient du bois de mauvaise qualité et du menu bois et branche. De plus, la valorisation des haies bocagères via leur utilisation en tant que bois énergie est soutenue par les élus locaux, et sera spécifié dans le PCAET.

<sup>1</sup> Inventaire forestier national, campagnes 2009-2013



**Figure 11 : Illustration des différentes qualités de bois**

Le Plan Régional de la Forêt et du Bois d'Auvergne-Rhône-Alpes 2019-2029 estime le taux de prélèvement actuel à 29% de l'accroissement naturel. L'offre en bois d'œuvre serait supérieure à la demande, tandis qu'il y aurait un équilibre entre l'offre et la demande en bois énergie. La mobilisation de cette ressource dépendra de l'évolution de la valeur du bois énergie rémunérée au propriétaire forestier, de la mobilisation des propriétaires privés, de la communication et la sensibilisation de la population et des communes sur l'exploitation forestière, ainsi que de la structuration de la filière en termes, entre autres, de matériel et de formation.

En dehors du bois bûche, de nombreuses scieries valorisent leurs déchets de bois en les revendant pour l'industrie ou le granulé. Le bois en fin de vie est aussi mis en valeur via le déchiquetage.

## 1.2.2 FOURNISSEURS LOCAUX

Une liste non exhaustive de ces entreprises est fournie par Observatoire Bois Énergie Auvergne-Rhône-Alpes. Il y a 5 fournisseurs recensés à proximité, dont les coordonnées se situent dans l'annexe F.

## 1.2.3 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

La livraison du combustible pourrait être réalisée par la D38.

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 m<sup>2</sup> pour la chaufferie plus 25 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup>, 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.

Le site a pour vocation d'accueillir des activités économiques et sera donc peu impacté par ces contraintes : elle est accessible, dispose de réserve foncière et le passage de camions n'est pas problématique.

## **1.2.4 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 en pied de bâtiment ou un réseau de chaleur au bois énergie.

## 1.3 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).

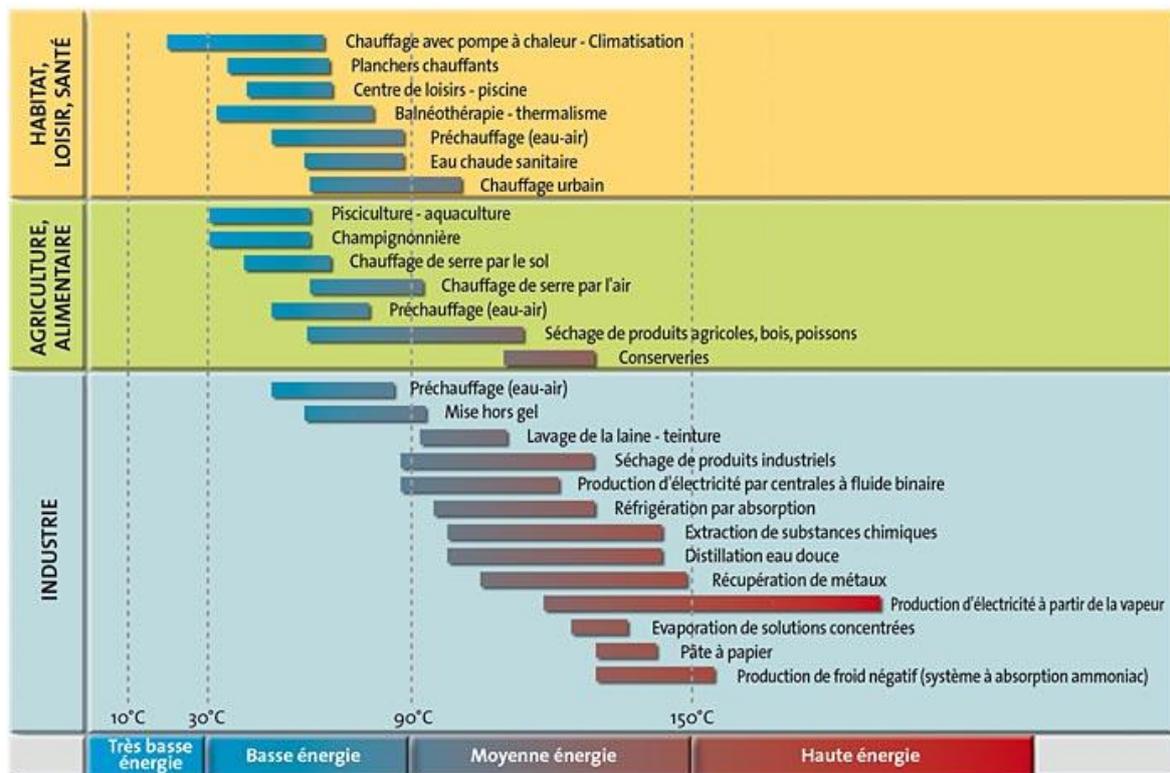


Figure 12 : Principales utilisations de la géothermie en fonction des températures (Source : Géothermie Perspectives)

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 géothermies<sup>2</sup>.

### 1.3.1 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).

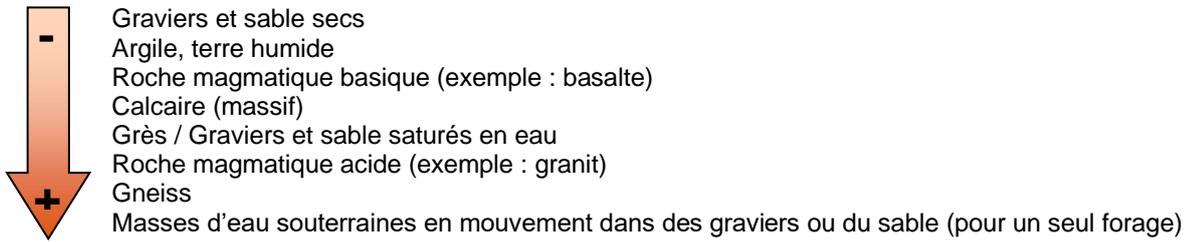
Il est nécessaire de faire appel à une entreprise de forage qualifiée et de respecter les procédures administratives concernant la protection du sous-sol.

---

<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> 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 :



La Base de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM recense les forages réalisés sur tout le pays et permet d'obtenir pour certains d'entre eux des coupes géologiques à différentes profondeurs.

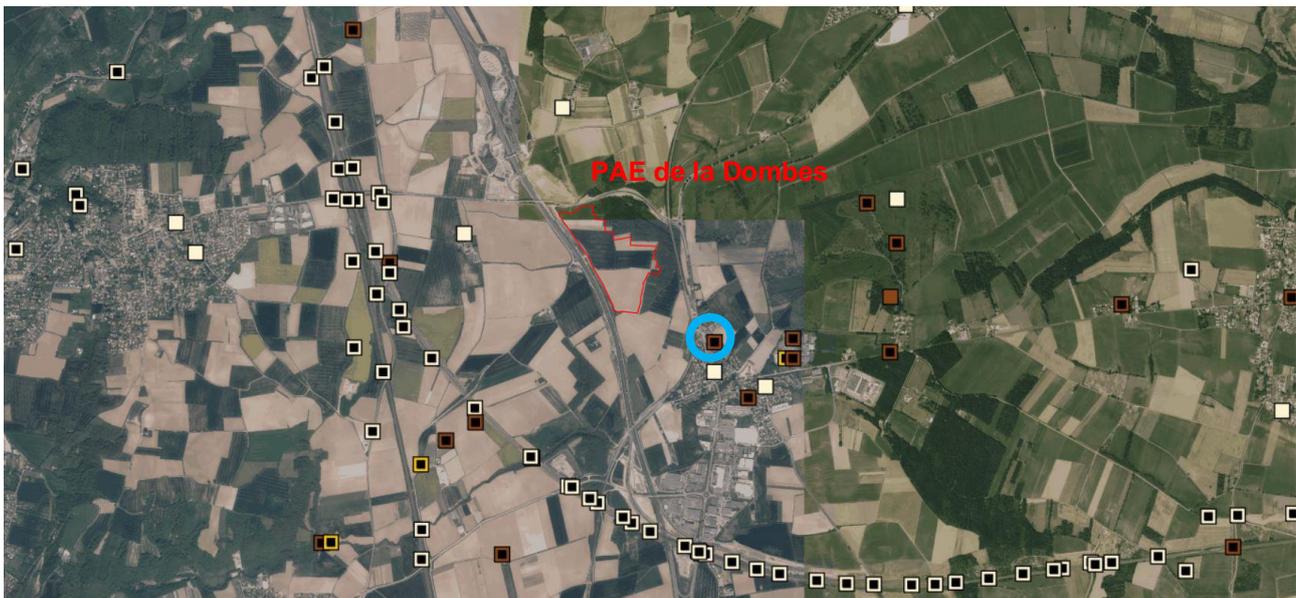


Figure 13 : Ouvrages de la banque de données du sous-sol (BRGM)

Le forage entouré en bleu présente la géologie suivante :

Profondeur	Composition
0 à 5 m	Limon
5 à 26 m	Gravier
26 à 42 m	Sable et gravier
42 à 48 m	Limon sableux
48 à 56 m	Sable et gravier

Ces caractéristiques laissent supposer une conductivité thermique plutôt faible jusqu'à 56 mètres de profondeur.

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 site, les caractéristiques du sous-sol conditionnant le nombre et la profondeur des forages à réaliser.

### 1.3.2 CONTRAINTES DU SITE

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

Le BRGM et le CEREMA ont établi une carte des zones relatives à la géothermie de minime importance<sup>3</sup> pour le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. Cette carte s'appuie sur une méthodologie d'élaboration prenant en compte neuf phénomènes redoutés pouvant apparaître lors d'un forage géothermique de minime importance :

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

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

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

La totalité du secteur d'étude est située en zone verte, c'est-à-dire qu'il est entièrement éligible à la géothermie de minime importance sur capteurs verticaux sans contraintes.

L'aléa sismique de la zone est faible<sup>4</sup>. La ZAC est située sur un terrain ne présentant pas de cavités souterraines<sup>5</sup>. Aucun mouvement de terrain (glissement, chute, éboulement, effondrement, coulée, érosion)<sup>6</sup> n'est référencé. L'aléa de retrait ou gonflement des argiles<sup>7</sup> est faible sur une partie du site. La ZAC n'est pas concernée par le risque inondation<sup>8</sup>.

### 1.3.3 POTENTIEL

**La géothermie très basse énergie sur capteurs verticaux ou pieux géothermiques présente un potentiel a priori intéressant** ; 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 thermiques sont nécessaires pour identifier précisément la puissance spécifique qui pourra être mobilisée.

<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>/h.

<sup>4</sup> Source : Géorisques.gouv.fr

<sup>5</sup> Source : BRGM. www.cavites.fr

<sup>6</sup> Source : BRGM. www.mouvementsdeterrain.fr

<sup>7</sup> Source : BRGM. www.argiles.fr

<sup>8</sup> Source : Cartorisques.prim.net

## 1.4 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).

### 1.4.1 AQUIFERES SUPERFICIELS

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

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

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

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

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



**Figure 14 : Caractéristiques géothermiques du meilleur aquifère (source : BRGM)**

Le meilleur aquifère présent au droit du site est situé entre 30 et 100 m de profondeur. Il s'agit de la nappe issue des formations plio-quadernaires de la Dombes. Il présente un débit moyen mobilisable de l'ordre de 30 à 500 m<sup>3</sup>/h. Son potentiel est considéré comme moyen au droit du site.

Comme l'indique le tableau ci-dessous (présenté à titre indicatif) ce débit pourrait permettre d'alimenter en chaleur et en froid un bâtiment de 1 000 à 5 000 m<sup>2</sup> (un forage de prélèvement pour un bâtiment de cette taille).

Toutefois, à proximité immédiate du site, la nappe serait située entre 15 et 30 m de profondeur, avec un débit moyen mobilisable de l'ordre de 10 à 50 m<sup>3</sup>/h. Son potentiel est considéré comme fort. Pour ces deux aquifères, la température est évaluée entre 10 et 15°C.

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 <sup>2</sup> .
$Q_{\text{exploitable}} > 50 \text{ m}^3/\text{h}$	Cette gamme de débits permet d'envisager le chauffage de bâtiments supérieurs à 5 000 m <sup>2</sup> .

Classe de température	Commentaire
Température < 10°C	Diminution des performances pour le fonctionnement d'une PAC en mode chauffage.
$10^\circ\text{C} \leq \text{Température} < 15^\circ\text{C}$	Très favorable au fonctionnement d'une PAC en mode chauffage et climatisation et au free-cooling.
T > 15°C	Diminution des performances pour le fonctionnement d'une PAC en mode climatisation.

Classe de la profondeur d'accès à la ressource	Commentaire
0 m < Profondeur < 15 m	Forage de moindre coût permettant la réalisation économique d'un projet de PAC sur nappe pour un pavillon, <b><u>mais avec risque de surcote piézométrique à l'injection, défavorable au projet en cas de nappe comprise entre 0 et 5 m</u></b>
15 m < Profondeur < 30 m	le coût du forage pèse fortement sur l'économie d'un projet de PAC sur nappe pour un pavillon
30 m < Profondeur < 200 m	le coût du forage ne peut être amorti que par une forte consommation en surface (petit collectif ou ensemble de plusieurs pavillons)

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

**!** 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.

## 1.4.2 CONTRAINTES

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

Le BRGM et le CEREMA ont établi une carte des zones relatives à la géothermie de minime importance pour le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (voir 1.3.2).

La totalité du secteur d'étude est situé en zone verte, c'est-à-dire qu'il est éligible à la géothermie de minime importance sur nappe sans contraintes.

- Le site du projet n'est pas concerné par un périmètre de protection de captage d'alimentation en eau potable.
- Le site du projet n'est pas concerné par un périmètre d'aléa inondation.

### 1.4.3 POINT SUR LA PROCEDURE AQUAPAC

Étant donnés les coûts importants de forage et les risques que les ressources ne soient pas suffisantes pour être exploitées, une procédure de garantie a été mise en place au niveau national. Elle couvre également les risques de non-pérennité de la ressource. Il s'agit de la procédure AQUAPAC.

#### LA PROCEDURE AQUAPAC

Cette procédure de « garantie sur la ressource en eau souterraine » à faible profondeur utilisée à des fins énergétiques a été mise en œuvre en partenariat entre l'ADEME, le BRGM et EDF. Elle est destinée à couvrir les risques d'aléas et de non-pérennité de la ressource. C'est une double garantie :

- garantie de recherche : couvre le risque d'échec consécutif à la découverte d'une ressource en eau souterraine insuffisante pour le fonctionnement des installations tel qu'il avait été prévu,
- garantie de pérennité : couvre le risque de diminution ou de détérioration de la ressource en cours d'exploitation.

Elle s'applique en faveur des installations utilisant des pompes à chaleur d'une puissance thermique supérieure à 30 kW.

AQUAPAC assure pendant 10 ans les investissements réalisés pour le captage et le transfert de la ressource jusqu'à l'échangeur eau –eau et sa réinjection.

Le cas échéant, une indemnité importante calculée sur le montant des investissements est versée à l'assuré. Elle ne peut dépasser 140 000 euros par sinistre.

### 1.4.4 POTENTIEL

La géothermie très basse énergie sur la nappe plio-quadernaire de la Dombes est envisageable sur la ZAC et pourrait permettre d'alimenter en chaleur et en froid une partie voir la totalité des bâtiments. Des études complémentaires quant aux caractéristiques de ces nappes devront être menées pour confirmer et affiner leurs caractéristiques locales.

## 1.5 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).

### 1.5.1 GISEMENT

#### **SUR AIR EXTERIEUR**

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

Mionnay 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 ce qui ne semble pas être le cas ici.

## 1.6 RECUPERATION DE CHALEUR SUR EAUX USEES

### 1.6.1 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.

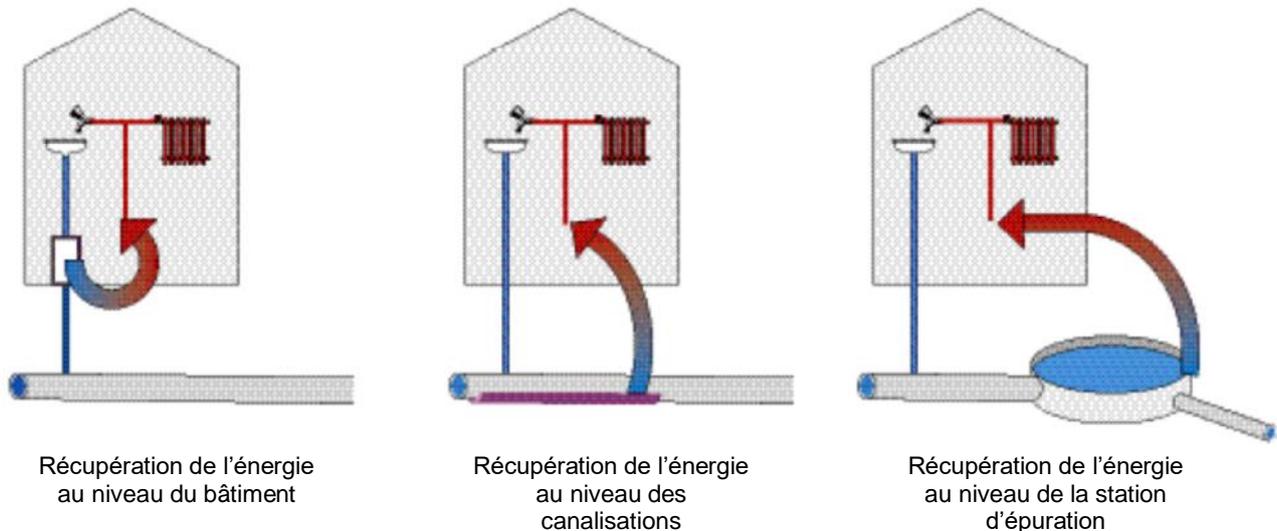


Figure 16 : Récupération de l'énergie des eaux usées (Source : Gestion et services publics, Suisse)

#### 1.6.1.1 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.

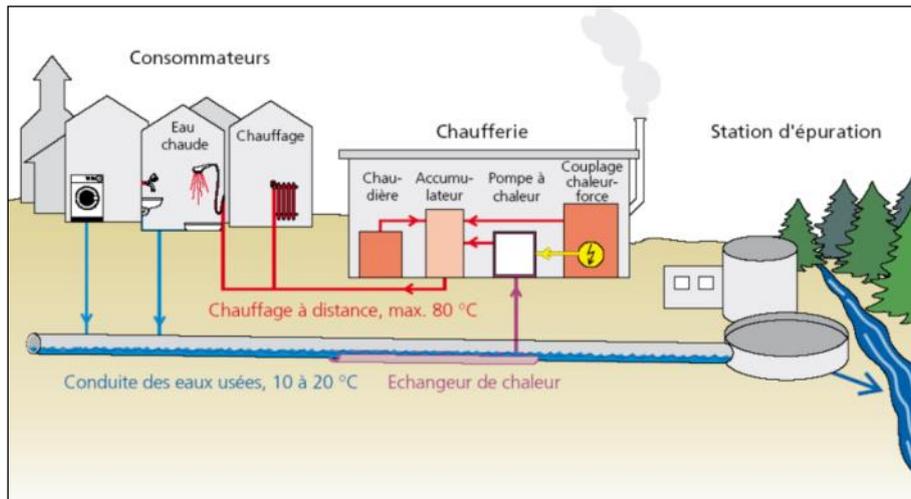


Figure 17 : Principe de fonctionnement de la récupération de chaleur des eaux usées sur les canalisations  
(Source : Susanne Staubli)



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

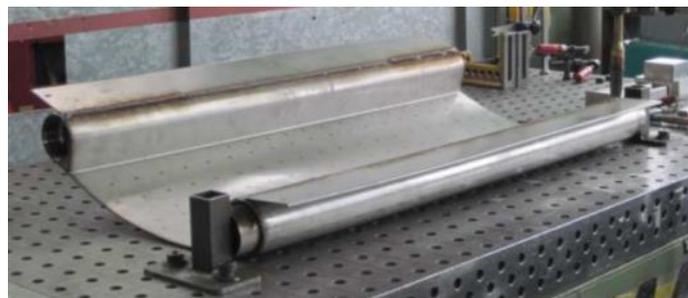


Figure 19 : Échangeur installé dans un ovoïde existant (Rabtherm), échangeur pour collecteur existant (Uhrig)

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/m<sup>2</sup> 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 : OFEN<sup>9</sup>, 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. <b>Débit favorable : entre 15 et 30 L/s</b> <b>Débit très favorable : supérieur à 50 L/s</b>
<u>Diamètre du collecteur</u>	Collecteur existant : <b>diamètre minimum de 800 mm pour que l'échangeur de chaleur puisse être installé.</b> Renouvellement ou extension de réseau : <b>un diamètre de 400 mm est suffisant</b> (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 <sup>10</sup> 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

<sup>9</sup> 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.

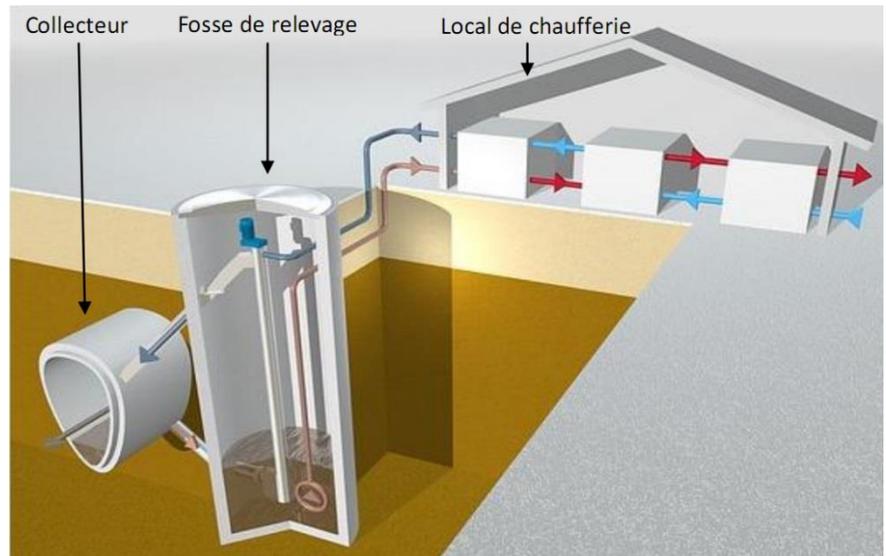
<sup>10</sup> Rabtherm, société ayant développé le procédé de récupération de chaleur sur eaux usées, a étudié l'impact de ce procédé sur la température des eaux usées. Pour un débit de 60 L/s et une puissance de chauffage de 500 kW, la température est diminuée de 1°C pour un gain de 4°C du fluide caloporteur. 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.

### 1.6.1.2 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](http://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.

### 1.6.1.3 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 Thermocycle<sup>11</sup>. Elle peut également être acheminée vers une pompe à chaleur. Ce système est proposé par exemple par Biofluides Environnement, PME française.

<sup>11</sup> <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.

### 1.6.1.4 Au niveau de la station d'épuration

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

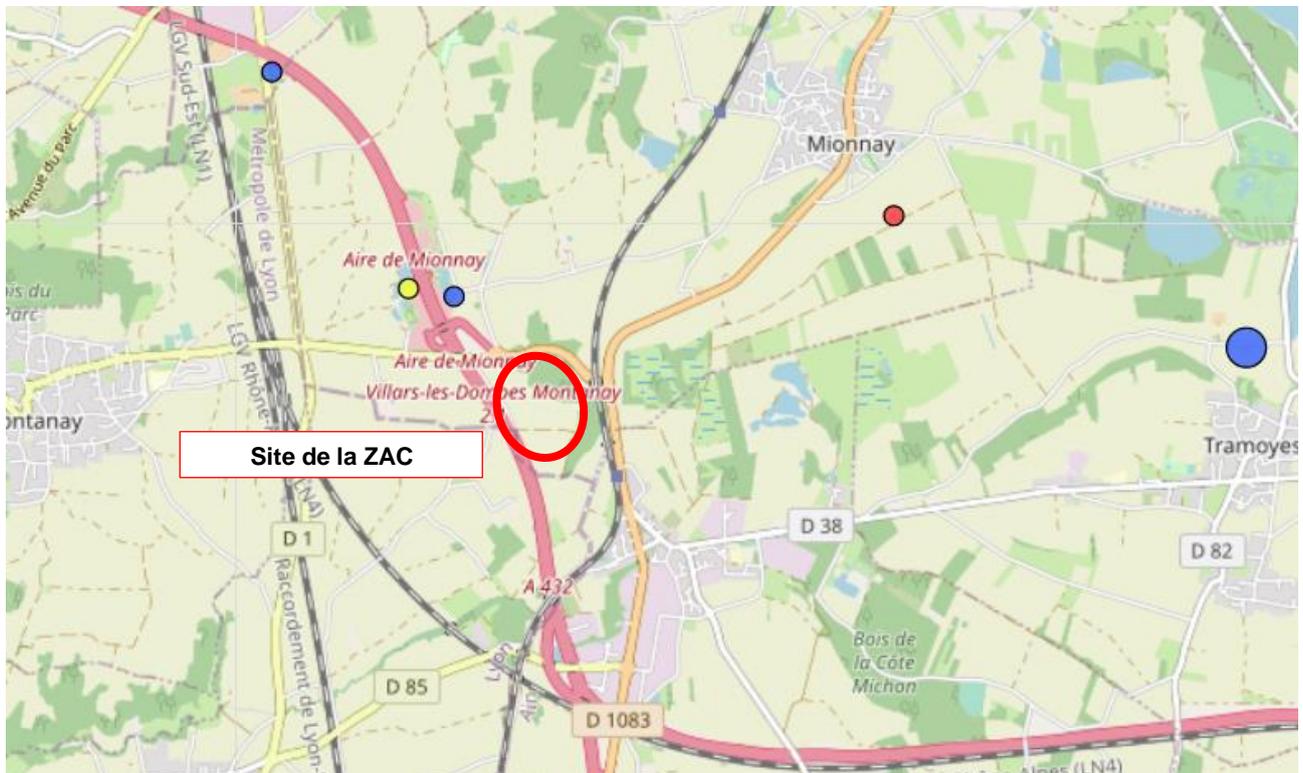
Des contraintes sont néanmoins à prendre en compte :

- 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.

### 1.6.2 GISEMENT

#### AU NIVEAU DE LA STATION D'EPURATION

La station d'épuration la plus proche est celle de Mionnay-Aire-Est-Chatanay : elle est située à plus de 600m de la ZAC et présente une faible capacité (774 EH). La mise en place d'une récupération de chaleur sur cette STEP ne semble donc pas pertinente.



**Figure 25 : Localisation des stations d'épuration**  
source : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

### **SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT EXISTANT**

Des réseaux d'eaux usées sont présents aux abords du site mais leurs caractéristiques ne sont pas suffisantes (un diamètre minimal de 800 mm est nécessaire) pour envisager une récupération de chaleur sur un réseau existant.

### **SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT A CREER SUR LE SITE**

Les effluents seront recueillis par l'intermédiaire d'une canalisation gravitaire en polypropylène de diamètre 200mm. 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**

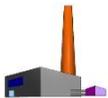
La seule contrainte à l'installation de systèmes individuels de récupération de chaleur sur eaux usées est la nécessité de séparer les eaux grises des eaux-vannes avant le dispositif. Si cela peut conduire à des coûts importants sur des bâtiments existants, cette contrainte engendre peu de surcoûts pour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

## **1.6.3 POTENTIEL**

La STEP la plus proche ne présente pas les caractéristiques nécessaires. 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**

Il n'y a pas de site producteur de chaleur à proximité de la ZAC.

### **1.7.2 POTENTIEL**

Il n'y a pas de gisement de chaleur fatale exploitable dans le secteur.

## 1.8 RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT

### 1.8.1 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.

### 1.8.2 GISEMENT

Il n'existe aucun réseau de chaleur ou de froid dans les environs du site d'études.

### 1.8.3 POTENTIEL

Aucun réseau de chaleur n'a été identifié à proximité.

## 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.

Conformément à l'article L111-18-1 du code de l'urbanisme, il est désormais obligatoire d'équiper les toitures de plus de 1000 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques et recouvrir a minima 30% de leur surface (sur le toit ou via des ombrières de parking), ou faire l'objet d'une végétalisation.

#### 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

Le productible d'une installation solaire photovoltaïque est illustré sur une toiture de 500 m<sup>2</sup>.

Caractéristiques de l'installation (simulation PVSYST) :

- 53 kWc en technologie polycristallin,
- environ 500 m<sup>2</sup> de modules photovoltaïques polycristallins,
- orientation sud et inclinaison à 30°.

Avec ces hypothèses, l'installation produit environ 55,8 MWh/an, soit plus de 1 050 h/an de fonctionnement à puissance nominale.

#### OMBRIERES PHOTOVOLTAÏQUES



Le projet prévoit la création d'environ 1000 places de stationnement en surface. 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.

La puissance que l'on pourrait atteindre en couvrant la totalité de ces parkings d'ombrières atteint 2 600 kWc pour une production prévisionnelle de 2 730 MWh/an (pour une exposition plein sud).

#### PHOTOVOLTAÏQUE EN TOITURE

Si on considère une couverture réglementaire minimale de 30 % des surfaces des toitures pour les bâtiments de plus de 1 000 m<sup>2</sup>, cela représente environ 28 000 m<sup>2</sup>. Il est cependant prévu d'équiper le site d'environ 36 000 m<sup>2</sup> de modules photovoltaïques, soit 6 MWc de modules photovoltaïques pour une production prévisionnelle de 6 300 MWh/an (pour une exposition plein sud).

#### 2.1.3 CONTRAINTES

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

## 2.1.4 POTENTIEL

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

La filière solaire photovoltaïque présente un gisement intéressant, et pourraient être sollicitées pour contribuer à l'approvisionnement en électricité du site. Une puissance produite totale d'environ 6 MWc est envisagée. La proximité d'un poste-source permettra un raccordement peu coûteux.

## 2.2 ÉNERGIE EOLIENNE



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

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

### 2.2.1 PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE

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

#### ÉOLIENNES A AXE HORIZONTAL

Les éoliennes urbaines à axe horizontal sont similaires aux éoliennes classiques quant à leur principe de fonctionnement. Les pales mises en rotation par l'énergie cinétique du vent entraînent un arbre raccordé à une génératrice qui transforme l'énergie mécanique créée en énergie électrique.

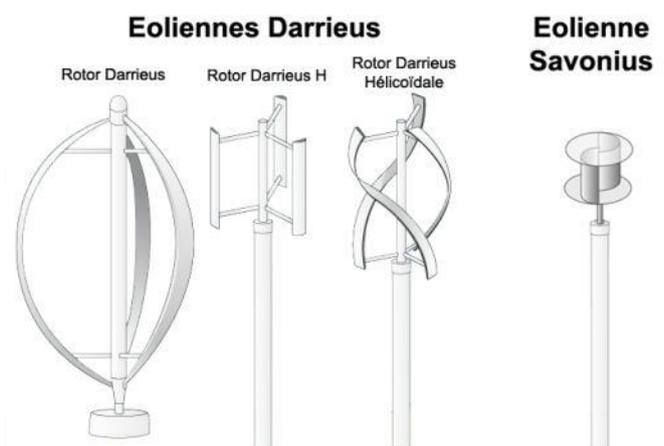
Les éoliennes urbaines à axe horizontal se caractérisent par leur petite taille, allant de 5 à 20 mètres, par le diamètre des pales (2 à 10 m) et par leur puissance atteignant pour certaines 20 kW.

#### ÉOLIENNES A AXE VERTICAL

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

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

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



**Figure 26 : 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.

**2.2.2 GISEMENT**

Le gisement n'est pas connu à ce jour.

**2.2.3 PRODUCTIBLE**

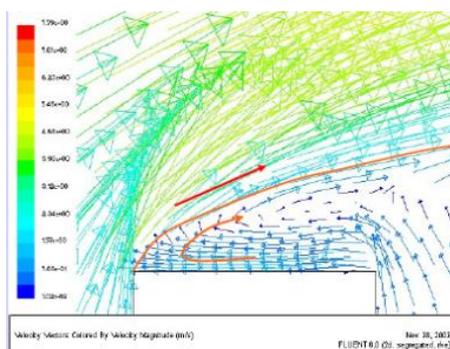
Les vents peuvent être « freinés » par la topographie du site ; le régime aérodynamique est extrêmement perturbé par la proximité du sol, mais aussi par les nombreux obstacles (arbres, bâtiments, etc.). Aussi, le positionnement le plus favorable aux éoliennes urbaines se trouve en toiture des bâtiments 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.

**2.2.4 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 27 :**  
**Comportement du**  
**vent dans un**  
**environnement urbain**  
**(source : DHV)**

- 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/m<sup>2</sup>.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.

## 2.2.5 REGLEMENTATION

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

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

## 2.2.6 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.

## 2.3 HYDROELECTRICITE

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

## 2.4 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.

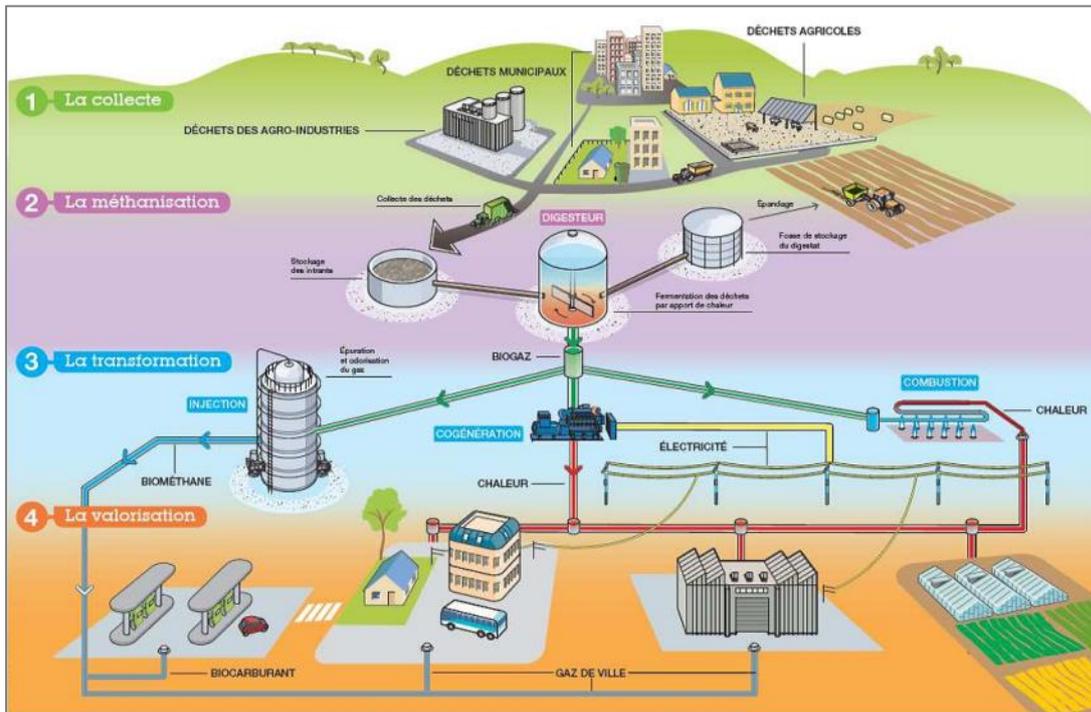


Figure 28 : Les étapes de la méthanisation (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement)

### 3.1.1 CONTRAINTES

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

Par ailleurs, il ne faut pas oublier qu'un projet de méthanisation nécessite une surface foncière minimale de 2 000 m<sup>2</sup><sup>12</sup>, ainsi qu'un éloignement minimal de 50 mètres des habitations avoisinantes<sup>13</sup>.

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.

### 3.1.2 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.

<sup>12</sup> Source : RAEE

<sup>13</sup> 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"> <li>Gisement intéressant</li> <li>Pas de contraintes réglementaires</li> </ul>
		BOIS ENERGIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ressources et offre disponibles</li> </ul>
		GEOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentiel faible a priori</li> <li>Test en réponse thermique nécessaire</li> </ul>
		HYDROTHERMIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentiel favorable sur nappe superficielle</li> <li>Études hydrogéologiques complémentaires à mener</li> </ul>
		AEROTHERMIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sur air extérieur : uniquement en mi-saison avec appoint</li> <li>Sur air vicié : selon les besoins des bâtiments</li> </ul>
		INDIVIDUEL	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Séparation des eaux vannes et des eaux grises avant le dispositif</li> <li>Si besoins en eau chaude sanitaire importants et constants sur l'année</li> </ul>
		SUR COLLECTEURS	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caractéristiques des collecteurs existants et à créer insuffisantes</li> </ul>
		SUR STEP	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stations d'épuration trop éloignée et de trop faible capacité</li> </ul>
	CHALEUR FATALE	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas d'opportunités</li> </ul>	
	RESEAU DE CHALEUR EXISTANT	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas d'opportunités</li> </ul>	
ÉLECTRICITE		SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gisement intéressant</li> <li>Pas de contraintes réglementaires</li> </ul>
		ÉOLIEN URBAIN	Non connu	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeur d'exemplarité uniquement</li> <li>Vents faibles</li> </ul>
		GRAND EOLIEN	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proximité d'habitations</li> </ul>
BIOGAZ		METHANISATION	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas à privilégier en première approche</li> </ul>

# SCENARIOS D'APPROVISIONNEMENT ENERGETIQUE

## 1 LES DIFFERENTS SYSTEMES ADAPTES

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

		Bureaux	Activités	Solutions déportées
	Chaudière bois	Chauffage 🔥		
	Micro-cogénération bois	Chauffage 🔥 Electricité ⚡		
	PAC sur capteurs verticaux ou pieux géothermiques	Chauffage 🔥 / rafraîchissement ❄️		
	PAC sur nappe	Chauffage 🔥 / rafraîchissement ❄️		
	VMC double-flux thermodynamique	Chauffage 🔥 / rafraîchissement ❄️		
	Panneaux solaires photovoltaïques en toiture	Electricité ⚡	Electricité ⚡	
	Panneaux solaires photovoltaïques en ombrières			Electricité ⚡ (déporté)
	Eolien urbain	Electricité ⚡ (en toiture)	Electricité ⚡ (en toiture)	Electricité ⚡ (déporté)

La plupart des solutions utilisant des énergies renouvelables pour la production d'ECS ne sont pas encore rentables pour des besoins faibles et discontinus.

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

Des solutions peuvent être mises en œuvre de manière déportée sur le site : éoliennes urbaines, panneaux photovoltaïques en ombrières de parkings, éclairage public autonome, etc.

**Principes de fonctionnement des systèmes cités dans le tableau :**

- **Panneaux solaires photovoltaïques** : utilisation du rayonnement solaire pour produire de l'électricité.
- **Chaudière bois** : chaudière utilisant des plaquettes ou des granulés de bois (suivant puissance et usage) et assurant le chauffage, voire la production d'eau chaude sanitaire si celle-ci est suffisamment importante.
- **Micro-cogénération bois** : la chaudière bois alimentant le bâtiment ou le réseau produit également de l'électricité.
- **Géothermie sur capteurs verticaux ou sur fondations géothermiques** : utilisation de la chaleur du sol pour chauffer des locaux en hiver, et de sa fraîcheur pour les rafraîchir en été. La technologie de captage de l'énergie du sol consiste en des capteurs verticaux dédiés, ou est intégrée aux fondations du bâtiment (pieux géothermiques ou semelles filantes géothermiques).
- **Géothermie sur nappe** : utilisation de la chaleur de la nappe pour chauffer des locaux en hiver, et de sa fraîcheur pour les rafraîchir en été. La technologie de captage de l'énergie du sol consiste en un forage permettant de pomper de l'eau de la nappe qui est ensuite réinjectée dans celle-ci après avoir transmis ses calories à un réseau secondaire qui alimente les bâtiments. Les calories sont extraites à l'aide d'une pompe à chaleur pour les besoins du bâtiment.
- **VMC double-flux thermodynamique** : utilisation de la chaleur de l'air extrait du bâtiment dans le cadre de sa ventilation pour chauffer l'air neuf entrant via une pompe à chaleur.

Au vu des sources d'énergie renouvelable et de récupération mobilisables sur le site et des besoins énergétiques des bâtiments, les solutions suivantes peuvent être envisagées pour leur alimentation :

- **Solaire thermique** : les besoins en ECS des bâtiments semblent à première vue trop faibles et/ou trop irréguliers pour envisager ce type de systèmes.
- **Solaire photovoltaïque** : panneaux photovoltaïques installés sur les toitures afin de couvrir une part des besoins en électricité du site ou injecter l'électricité produite sur le réseau électrique.
- **Chauffage au bois ou à la biomasse** : la création d'une chaufferie bois ou biomasse permettrait de couvrir les besoins en chaleur des bâtiments via des chaufferies individuelles pour un ou plusieurs bâtiments. Une telle chaufferie doit intégrer une solution de chauffage d'appoint au gaz naturel. Toutefois, cette solution n'est pas retenue car elle ne permet pas de couvrir les besoins de climatisation des bureaux qui devront être couverts par des systèmes individuels aérothermiques supplémentaires.
- **Systèmes éoliens** : la rentabilité de ce type de systèmes est insuffisante en comparaison des systèmes photovoltaïques.
- **Raccordement à un réseau de chauffage ou de refroidissement collectif** : pas de réseau existant, création d'un réseau non pertinente.
- **Pompes à chaleur géothermiques** : pompage(s) dans la nappe couplé(s) à un système de pompe à chaleur afin d'alimenter en chaleur et en froid les bâtiments.
- **Autres types de pompes à chaleur** : pompes à chaleur aérothermiques récupérant des calories sur l'air extérieur et/ou sur l'air extrait du bâtiment afin d'alimenter en chaleur et en froid les bâtiments.
- **Chaudières gaz à condensation** : cette ne permet pas d'utiliser d'énergies renouvelables. Elle n'est pas retenue car elle ne permet pas de couvrir les besoins de climatisation des bureaux qui devront être couverts par des systèmes individuels aérothermiques supplémentaires.
- **Systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité** : ce type de systèmes concernent les chaudières gaz ou bois et peut être envisager afin d'accroître la rentabilité de l'installation de production de chaleur en autoconsommant l'électricité produite ou en l'injectant sur le réseau électrique.

## 2 SOLUTION 1 : SOLUTION PRESSENTIE

### 2.1 DESCRIPTION

Le chauffage et le rafraîchissement sont réalisés par une pompe à chaleur aérothermique au gaz naturel.

### 2.2 CONSOMMATIONS ENERGETIQUES

Pour calculer les estimer les consommations d'énergies finales des bâtiments, on, considère le seuil réglementaire imposé par la RT2012 en énergie primaire.

La consommation d'énergie (gaz naturel) est estimée à 322 MWh/an dont 73 MWh/an pour la climatisation.

Les hypothèses prise en compte concernant la performance énergétique des équipements sont les suivantes : COP chaleur annuel = 2,2 / EER annuel = 4,0

### 2.3 EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

Les facteurs de conversion des kilowattheures finaux en émissions de gaz à effet de serre sont fournis par l'annexe 4 de l'arrêté du 15 septembre 2006. Pour le gaz naturel, ces coefficients sont de 0,234 kgCO<sub>2</sub>/kWh<sub>ef</sub> pour le chauffage et 0,234 /kWh<sub>ef</sub> pour la climatisation.

Ainsi, les émissions totales liées aux postes chauffage et climatisation représentent **75 tCO<sub>2</sub>/an**.

### 2.4 BILAN ECONOMIQUE

#### INVESTISSEMENT

300 €/kW<sub>chaud</sub> pour un besoin total de 114 kW<sub>chaud</sub>  
Soit un investissement total de **34 200 €**.

#### COUT ANNUEL D'EXPLOITATION

Cout de l'énergie : 6,8 c€/kWh soit 21 900 €/an  
Maintenance annuelle : 1 000 €/an

Soit un cout annuel d'exploitation la première année de : **22 900 €/an**

Evolution du cout de l'énergie : 5%/an

Soit un cout annuel d'exploitation moyen sur 20 ans de : **37 200 €/an**

## 3 SOLUTION 2 : SOLUTION GEOTHERMIQUE

### 3.1 DESCRIPTION

Le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments sont réalisés par une pompe à chaleur géothermique alimentée par des sondes verticales.

### 3.2 CONSOMMATIONS ENERGETIQUES

La consommation d'énergie (électricité) est estimée à 115 MWh/an dont 17 MWh/an pour la climatisation.

Les hypothèses prises en compte concernant la performance énergétique des équipements sont les suivantes COP annuel = 4,0 / EER annuel = 3,0

Dans cette solution, l'ensemble des consommations d'énergie finale représente une consommation d'énergie électrique auquel est appliqué un coefficient de conversion en énergie primaire de 2,58.

### 3.3 EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

Les facteurs de conversion des kilowattheures finaux en émissions de gaz à effet de serre sont fournis par l'annexe 4 de l'arrêté du 15 septembre 2006. Pour l'électricité (hors électricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment) ces coefficients sont de 0,180 kgCO<sub>2</sub>/kWh<sub>ef</sub> pour le chauffage et 0,040 kgCO<sub>2</sub>/kWh<sub>ef</sub> pour la climatisation.

Ainsi, les émissions totales liées aux postes Chauffage et à la climatisation représentent **18 tCO<sub>2</sub>/an**.

### 3.4 BILAN ECONOMIQUE

#### INVESTISSEMENT

400 €/kW<sub>chaud</sub> pour un besoin total de 180 kW<sub>chaud</sub>

70 €/ml de sondes géothermiques pour un besoin total de 3 200 ml soit 224 000 €

Soit un investissement total de **296 000 €**.

**Surcout d'investissement : 261 800 €**

#### COUT ANNUEL D'EXPLOITATION

Cout de l'énergie : 14,5 c€/kWh soit 16 700 €/an

Maintenance annuelle : 2 000 €/an

Soit un cout annuel d'exploitation la première année de : **18 700 €/an**

Evolution du cout de l'énergie : 5%/an

Soit un cout annuel d'exploitation moyen sur 20 ans de : **29 600 €/an**

**Economie sur les couts d'exploitation sur 20 ans** (durée de vie envisagée des équipements) : **153 000 €/an**

**Temps de retour sur investissement : 28 ans**

## 4 SOLUTION RETENUE

La solution 1 au gaz naturel est retenue par le maître d'ouvrage. Cette solution permet de limiter la consommation d'énergie et les coûts globaux de la solution énergétique, tout en étant simple dans sa mise en œuvre bien que son bilan carbone soit moins intéressant.

La solution 2 géothermique ne permet pas un retour sur investissement suffisant au regard du gain énergétique qu'elle apporte. De plus cette solution présente une complexité importante en termes de mise en œuvre (réalisation d'un test en réponse thermique pour valider la solution, réalisation de forages et surface disponible nécessaire).

Le recours aux panneaux photovoltaïques pour la production d'électricité permet de profiter de la grande surface de toiture pour couvrir une part importante des consommations d'électricité de la solution retenue.

Les autres solutions de valorisation d'énergies renouvelables n'ont pas pu être retenues pour cause d'impossibilités techniques.

# PRECONISATIONS POUR LIMITER LES IMPACTS ENERGETIQUES DU PROJET

## 1 PISTES D' ACTIONS POUR LA MAITRISE DE L'ENERGIE ET LA SOBRIETE ENERGETIQUE

### 1.1 ORIENTATION ET BIOCLIMATISME

L'enjeu d'une architecture dite « bioclimatique » est de tirer le meilleur parti des caractéristiques du site et de son environnement pour aboutir à un bâtiment naturellement confortable pour ses utilisateurs et peu onéreux dans son fonctionnement. D'un point de vue énergétique, ce type d'architecture permet de réaliser des économies à plusieurs niveaux :

- Grâce à la réduction des besoins de chauffage en hiver en maximisant les apports solaires ;
- Grâce à la réduction des besoins de rafraîchissement en été en limitant les apports solaires et en favorisant la circulation d'air, le rafraîchissement des ambiances, etc.
- Grâce à la réduction des consommations de ventilation grâce à l'utilisation des courants d'air naturels ;
- Grâce à la réduction des consommations d'éclairage grâce à une optimisation des apports de lumière naturelle.

Ces économies d'énergie sont l'occasion d'autant d'économies financières pour l'utilisateur et peuvent également engendrer des économies d'investissement dans le dimensionnement des équipements.

En phase de conception, les principales dispositions qui devront être prises concernent :

- L'orientation : on privilégiera une orientation est-ouest du bâti de manière à positionner les plus grandes façades au sud et profiter ainsi des apports solaires.
- L'utilisation de l'environnement : on prendra en compte les ombres générées par le relief et la végétation, la circulation de l'air et la protection face aux vents dominants sur les besoins énergétiques du bâtiment.
- La création de végétation et de zones humides pour favoriser le rafraîchissement des ambiances et l'ombre en été. On tâchera de limiter les zones artificialisées à proximité des bâtiments. Mise en place de toitures végétalisées.
- Pour favoriser le confort d'été : création de protections solaires extérieures (brise-soleil, pergola, débord de toiture, avancée architecturale, etc.) adaptées à l'orientation des ouvertures vitrées ; complétées avec des protections mobiles extérieures (volets, stores à projection, etc.). Choisir des revêtements de façades de couleur claire.

## 1.2 PERFORMANCE ENERGETIQUE DU BATIMENT

La performance énergétique d'un bâtiment ne se réduit pas au seul respect de la réglementation thermique en vigueur.

D'une part il est possible d'aller plus loin que cette réglementation en termes de performance pure, par le respect de labels (Effinergie notamment) ou par l'atteinte de seuil de performance ambitieux pour les constructions neuves (le niveau imposé par la future réglementation RE 2020 n'est pas encore connu mais il devrait se limiter aux recommandations de la RT 2012 en termes de performance et imposé un niveau de performance globale – bilan énergie consommée et produite – proposé par l'expérimentation Energie + Carbone -) ou les rénovations.

D'autre part, un certain nombre de bonnes pratiques peuvent être favorisées afin de garantir une performance effective des bâtiments correspondants aux valeurs théoriques envisagées :

- Dans le cas d'un chauffage collectif, réguler le fonctionnement de la chaudière en fonction de la température extérieure, et prévoir un ralenti de nuit ce qui permet de faire des économies sur l'électricité consommée par le circulateur.
- Mettre en place un comptage individualisé des consommations pour chaque appartement et pour chaque usage (chauffage, eau chaude sanitaire, électricité) et installer un programmateur performant par logement, accompagné de son mode d'emploi. Ces recommandations permettent aux usagers de visualiser et de pouvoir agir directement sur leurs consommations.
- Choisir des matériaux d'isolation permettant une bonne inertie thermique, si possible biosourcés, et privilégier une isolation par l'extérieure sans ponts thermiques (désolidariser les balcons et terrasses de la structure, ou les équiper de rupteurs de ponts thermiques).
- Installer un système de ventilation mécanique contrôlée (VMC) dit double-flux, dont l'échangeur aura une efficacité nominale de 90% au minimum. Choisir des conduits rigides (et non souples). Prévoir des débits variables afin de permettre une surventilation nocturne en été.
- Installer un ou plusieurs interrupteurs muraux à l'entrée du logement commandant les prises destinées au matériel audiovisuel et informatique.
- Choisir des ascenseurs à contrepoids, avec variateur de vitesse, sans réducteur (« gearless »), et dont l'éclairage de cabine est asservi au fonctionnement effectif (extinction de la cabine à vide).
- Dans le cas d'un chauffage à eau, équiper les radiateurs de robinets thermostatiques.

## 2 RECOMMANDATIONS POUR FAVORISER L'INTEGRATION DES ENR DANS LA CONCEPTION

### 2.1 DENSITE DU BÂTI ET RESEAUX DE CHALEUR

La densité du bâti doit être recherchée à deux niveaux :

- Au niveau des bâtiments eux-mêmes : en créant des bâtiments plus hauts et plus compacts on limite ainsi les surfaces de déperditions thermiques. La compacité du bâti permet de simplifier et d'optimiser l'isolation à moindre coup en réduisant pour un même volume les surfaces déperditives. Les bâtiments collectifs de moyenne hauteur doivent être privilégiés afin de mutualiser les équipements de chauffage et de rafraîchissement.
- Au niveau de la zone, si l'on souhaite s'orienter vers un réseau de chaleur, il est primordial de privilégier la densité du bâti. En effet, la rentabilité d'un réseau de chaleur est directement dépendante de la longueur de celui-ci, d'autant plus lorsqu'il alimente des bâtiments dont les besoins énergétiques sont limités (ce qui est déjà le cas avec la réglementation thermique 2012). Si tous les bâtiments n'ont pas vocation à être alimentés par un réseau de chaleur (notamment les maisons individuelles), on pourra organiser la zone de manière à regrouper les bâtiments les plus consommateurs.

Dans l'optique de créer un réseau de chaleur, on pourra également prévoir dès la conception de la zone un espace dédié à la chaufferie centrale. Dans le cas d'une chaudière bois énergie il faudra également disposer d'un accès routier suffisant pour le passage de camions et une zone de retournement pour la livraison. La chaufferie devra être positionnée de manière à optimiser le tracé du réseau de chaleur tout en limitant les nuisances pour les riverains (bruit des livraisons par exemple).

### 2.2 MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

L'implantation de capteurs solaires photovoltaïques en toiture devra être idéalement prise en compte dès la conception des bâtiments. On pourra ainsi maximiser le rendement de ces installations. Dans le cas de toitures inclinées, on privilégiera une orientation est-ouest de la toiture afin de bénéficier d'une surface maximale disponible exposée au sud. On veillera également à limiter les effets de masque entre les bâtiments en créant des bâtiments de hauteur équivalente et positionnés de manière à éviter qu'ils ne projettent leur ombre sur les toitures voisines, afin de bénéficier d'un ensoleillement maximal toute l'année. Dans cette optique, on prendra également en compte les ombres générées par le relief et la végétation

## 3 LES SMART-GRIDS

Un smart-grid est par définition un « réseau intelligent ». Il s'agit d'un réseau électrique de transmission ou de distribution, de grande ou de petite échelle et utilisant les Nouvelles Technologies de l'Informatique et de la Communication (NTIC). Un smart-grid n'est pas un nouveau réseau électrique, mais une évolution du réseau actuel permettant de répondre aux nouveaux défis du secteur de l'électricité :

- Satisfaire une demande croissante en électricité ;
- Intégrer les sources de production intermittentes, décentralisées et d'origine renouvelable (objectifs nationaux 32% d'EnRs en 2030 et de 40% d'EnRs dans la consommation d'électricité).

La différence majeure entre le réseau actuel et un smart-grid se trouve dans l'aspect communicatif de tous ces pôles entre eux. La gestion du réseau électrique pour l'instant centralisée et unidirectionnelle (allant de la production à la consommation) doit évoluer vers un système plus réparti et bidirectionnel. Dans le réseau actuel, l'équilibre est obtenu en pilotant l'offre d'électricité en fonction de la demande et aux conditions d'approvisionnement et de coût les plus favorables. Dans un smart-grid, la demande est gérée de façon active (incitations au délestage lors des pics de consommation) et permet tout comme l'offre d'équilibrer le système électrique.

Un smart-grid est donc une évolution du réseau qui va toucher à la fois la production et la consommation, avec comme aspect essentiel la communication entre tous les acteurs du réseau électrique. Pour répondre aux problématiques futures, il doit impliquer directement les utilisateurs finaux et gérer de façon optimale de nombreux paramètres qui sont :

- Intégration des énergies renouvelables ;
- Intégration des véhicules électriques ;
- Stockage de l'énergie ;
- Modernisation du réseau.

### 3.1 BATIMENT INTELLIGENT

Un bâtiment intelligent est une application du smart-grid sur un réseau privé. Il doit répondre à trois critères essentiels qui sont :

- Assurer le confort et la sécurité des utilisateurs ;
- Optimiser son efficacité énergétique et limiter les émissions de CO<sub>2</sub> ;
- Être intéressant du point de vue économique (que les gens soient prêts à investir dans ce type de bâtiment).

Le confort et la sécurité des utilisateurs passent par le respect des normes relatives à la luminosité, la température, aux transports (ascenseurs ou escaliers) et aux communications (téléphoniques et internet). Un bâtiment intelligent doit limiter la quantité d'énergie à consommer pour respecter ces niveaux de confort et de sécurité.

Une caractéristique très importante d'un bâtiment intelligent est la gestion de ses divers équipements électriques. L'application des NTIC à un bâtiment porte le nom de Gestion Technique des Bâtiments (GTB).

La GTB permet premièrement de relier le matériel et les contrôles de différents systèmes à un unique outil de gestion. Ainsi le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, les stores et les systèmes de détection d'incendie et d'alarmes sont gérés par le même outil. Suivant les dispositifs utilisés, la GTB permet aussi de mesurer, piloter et anticiper la production et la consommation d'énergie dans un bâtiment afin d'optimiser l'autoconsommation de l'énergie produite.

Les bâtiments sont donc équipés de nombreux capteurs et actionneurs, ainsi que d'une plateforme ou d'un logiciel de gestion d'énergie. On compte des capteurs de présence, de température et de luminosité par exemple, qui permettent de limiter au mieux les consommations d'énergie superflues (chauffage lorsque l'occupant n'est pas là, éclairage trop important lorsque la luminosité est correcte, ...).

Ce modèle de smart-grid permet de limiter les consommations externes d'électricité d'un bâtiment afin elle rendre le plus autonome possible ou exportateur d'électricité (on parle de bâtiment à énergie positive ou BEPOS). On limite ainsi les pertes d'électricité induites par la circulation de l'électricité sur les réseaux et les transformations successives (basse tension, moyenne tension, etc.). **Ce modèle est celui qui est mis en avant par le label E+C- qui favorise l'autoconsommation au niveau d'un bâtiment.**

### 3.2 QUARTIER INTELLIGENT

Pour qu'un quartier soit considéré comme un smart-grid, la communication entre les différents bâtiments est essentielle. Grâce à des dispositifs de communication entre les compteurs des bâtiments, les pertes liées au transport de l'énergie sont évitées et l'électricité renouvelable produite localement peut alimenter directement les bâtiments du quartier.

En France cependant, les premiers smart-grids à l'échelle de quartier sont encore en phase d'expérimentation, avec notamment des projets tels qu'Issygrid en région Parisienne, Nice Grid à Carros (Alpes Maritimes) et Confluence à Lyon.

La base d'un smart-grid à l'échelle d'un quartier réside dans la communication entre les différents bâtiments dans le but d'optimiser la gestion locale de l'énergie. L'arrivée de 35 millions de compteurs communicants Linky d'Enedis d'ici 2020 doit accompagner le développement des smart-grids en France.

Le compteur Linky est en interaction permanente avec le réseau, lui permettant de recevoir des ordres et transmettre des informations au centre de supervision d'Enedis (ou d'une entreprise locale de distribution). La communication entre les clients et les fournisseurs d'électricité se fait donc par l'intermédiaire des postes de distribution et d'une agence centrale de supervision. Il s'agit d'une communication par courants porteurs en ligne (CPL) entre les compteurs individuels et le concentrateur situé dans le poste de distribution. Les données collectées dans les postes de distribution peuvent ensuite être envoyées à une agence centrale de supervision par le biais d'un réseau téléphonique GPRS. Ce modèle s'applique aussi à un réseau de plus grande échelle que pour un quartier, tel que pour une ville ou un département, et à long terme pour le réseau national voire européen.

Ce modèle de smart-grid permet de limiter les consommations externes d'électricité du quartier tout en permettant de mutualiser les productions à une échelle plus large entre bâtiments ayant des typologies différentes (bureaux occupés la journée en semaine et logements occupés le soir et le weekend), avec des moyens de production sur le site (ombrières photovoltaïques, éoliennes urbaines, cogénération alimentant un réseau de chaleur, etc.) et d'intégrer des consommations supplémentaires : éclairage public, véhicules électriques (et leur capacité de stockage), autres équipements publics. **Ce modèle est celui qui est mis en avant par la loi sur l'autoconsommation qui considère comme autoconsommée l'électricité produite et consommée sur un réseau de proximité (environ 2 km).**

L'échelle retenue pour la mise en place d'un smart-grid doit prendre en compte les possibilités de mutualisations offertes par une échelle plus importante tout en veillant à réduire les contraintes supplémentaires que présente cette échelle : besoin d'une entité de régulation faisant le lien entre les différents bâtiments, relation et contractualisation entre les propriétaires des bâtiments, prise en compte du phasage des constructions.

### 3.3 LE STOCKAGE D'ELECTRICITE

En plus de la communication et du pilotage à distance entre les différents acteurs du réseau électrique, le stockage de l'électricité est une des composantes majeures d'un smart-grid. Les sources d'énergies renouvelables solaires et éoliennes sont des sources intermittentes, c'est pourquoi leur pic de production peut survenir durant des périodes de très faible consommation électrique. Le stockage intégré à ces sources d'énergie permet de faire tampon et de réguler l'injection d'électricité dans le réseau. Le stockage d'électricité permet aussi de participer à l'effacement lors des pics de consommation en rendant les bâtiments équipés autonomes en énergie. Si les dispositifs de stockage injectent de l'électricité à ce moment, la dépendance aux solutions de production utilisées lors des pics de production (charbon, gaz, fioul) et fortement émettrices en gaz à effet de serre peut être réduite.

La principale solution de stockage à l'échelle d'un bâtiment est la batterie. Toutefois, le coût, la durée de vie et le bilan environnemental des batteries en font une solution aujourd'hui peu adaptée à l'autoconsommation d'électricité. Toutefois des pistes sont actuellement à l'étude, en particulier le recours aux batteries des véhicules électriques en charge (véhicule to grid) ou la réutilisation de batteries de véhicules en fin de vie (les batteries des véhicules sont généralement remplacées lorsque leur capacité n'est plus que de 80%, mais elles peuvent toujours être utilisées de manière stationnaire lorsqu'il n'y a pas de contraintes d'encombrement ou de poids).

# ANNEXES

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

### TRACE DES RESEAUX DE CHALEUR

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

### DENSITE ENERGETIQUE SEUIL

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

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

Finalement, nous retenons la valeur seuil de 1,5 MWh<sub>ef</sub>/(m<sub>l</sub>.an), correspondant au seuil de faisabilité technique retenu par le Fonds Chaleur.

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

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

- moins de 500 kW : 1,5 MWh/(m<sub>l</sub>.an),
- 500 à 1 500 kW : 3 MWh/(m<sub>l</sub>.an),
- 1 500 à 3 000 kW : 3,5 MWh/(m<sub>l</sub>.an).

## B. DEFINITION DES ENERGIES DITES UTILES, FINALES, PRIMAIRES

### ÉNERGIE UTILE :

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

### ÉNERGIE FINALE :

Il s'agit de l'énergie délivrée aux consommateurs pour être convertie en énergie utile.

L'énergie finale caractérise une consommation énergétique, son calcul intègre le rendement de l'équipement de production ou de pertes du réseau. C'est l'énergie qui est facturée au consommateur, qui est disponible pour l'utilisateur final.

### ÉNERGIE PRIMAIRE :

C'est la forme première de l'énergie directement disponible dans la nature : bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent... L'énergie primaire n'est donc pas directement utilisable et fait l'objet de transformation (le raffinage du pétrole pour obtenir de l'essence ou du gazole par exemple).

Elle caractérise donc un coût énergétique global, prenant en compte l'énergie consommée, mais aussi l'énergie qu'il a fallu produire en amont pour transformer, transporter, distribuer, stocker cette énergie jusqu'au lieu de consommation.

### CONVERSION ENERGIE UTILE/ENERGIE FINALE :

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

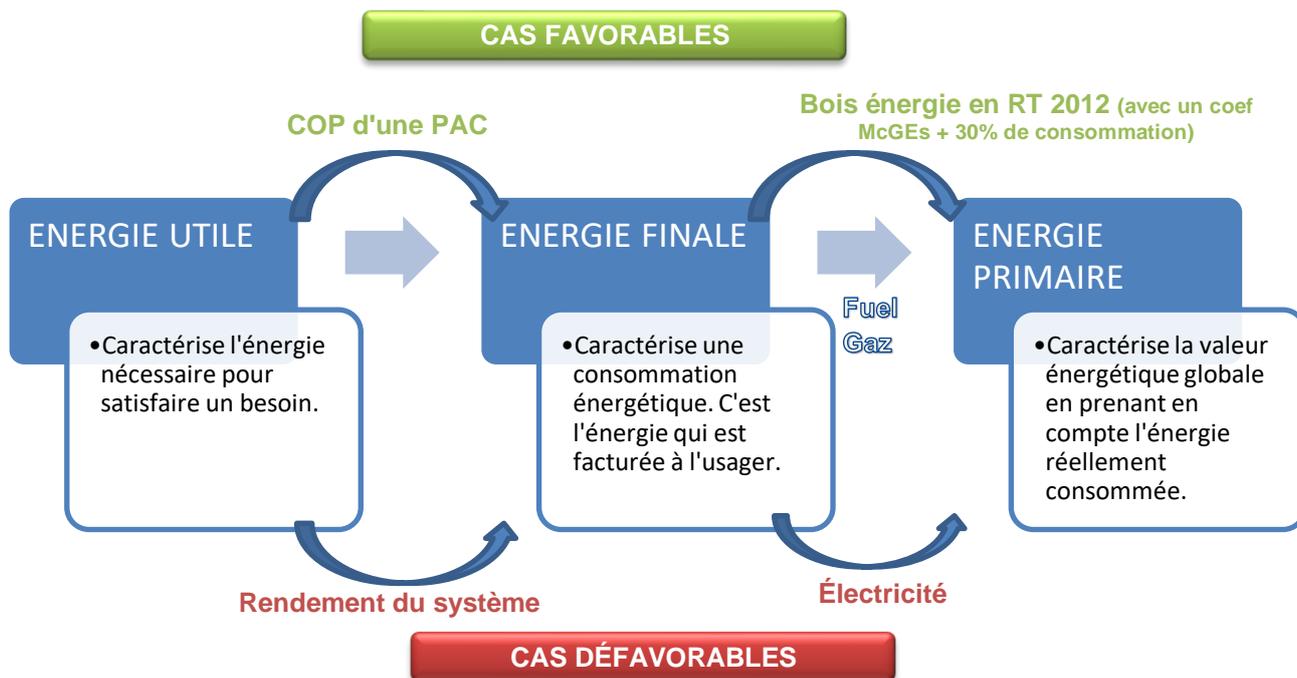
### CONVERSION ENERGIE FINALE/ENERGIE PRIMAIRE :

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

Type d'énergie	RT 2012	Label BBC
Électricité	2,58	2,58
Bois	1	0,6
Gaz/Fioul	1	1

Tableau 1 : Vecteurs énergétiques selon les réglementations et les labels

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



### EXEMPLE

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

Hypothèses :

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

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

Dans la pratique, le maître d'ouvrage peut donc moins isoler sa maison dans le cadre du bois énergie tout en atteignant la valeur réglementaire d'énergie primaire que celui qui utilise le gaz. C'est également le cas dans une moindre mesure pour les pompes à chaleur.

## C. METHODOLOGIE POUR L'ESTIMATION DES BESOINS ENERGETIQUES

La présente étude nécessite la connaissance des besoins énergétiques de la zone étudiée. Puisque les bâtiments ne sont pas construits, les besoins énergétiques sont estimés à partir des données de programmation et sur la base de ratios de consommation par m<sup>2</sup> selon l'usage, le type de bâtiment et le scénario retenu. Il s'agit d'évaluer essentiellement les besoins en consommation thermique et électrique des différentes surfaces programmées.

### PERFORMANCES ENERGETIQUES DES NOUVELLES CONSTRUCTIONS

Le niveau de performance énergétique est généralement défini en fonction des dates prévues de dépôt des permis de construire :

- Les bâtiments construits avant 2020 sont soumis à la Réglementation Thermique 2012.
- Les bâtiments construits après 2020 sont soumis à la future Réglementation Thermique 2020, à savoir la performance BEPOS.

Une présentation de la RT 2012 et de l'appellation BEPOS est consultable en annexe D et E.

### METHODOLOGIE

#### POUR DES BATIMENTS RT 2012

Le programme d'aménagement bâti doit respecter la Réglementation Thermique de 2012. Des exigences sont donc fixées pour :

- Le Bbio : l'énergie utile des postes Chauffage, Refroidissement, Éclairage doit être inférieure à un seuil Bbiomax
- Le Cep : l'énergie primaire des postes Chauffage, Eau Chaude Sanitaire, Refroidissement, Éclairage, Auxiliaires doit être inférieure à un seuil Cepmax.

Les vecteurs énergétiques entre énergies utile, finale, primaire, varient selon l'équipement et l'énergie (voir en annexe la définition des énergies utile, finale et primaire).

Le tableau ci-dessous donne les seuils à respecter pour des bâtiments alimentés par un réseau de chaleur dont le contenu CO<sub>2</sub> est inférieur à 50 grammes de CO<sub>2</sub> par kWh. Ils sont calculés selon les formules décrites en annexe D. Le Bbio, qui exprime la performance de l'enveloppe du bâti ne dépend pas de l'énergie et du système de production choisi.

	Scenario rdc bois		Scenario Géothermie	Scenario Référence
	Bbiomax	Cep <sub>max</sub>	Cep <sub>max</sub>	Cep <sub>max</sub>
Bureaux	70 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an	98 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an	98 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an	77 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an
Activités	90 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an	182 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an	182 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an	140 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an

#### CALCUL DES RATIOS DE CONSOMMATION PAR SCENARIO

L'exercice consiste maintenant à répartir les consommations allouées par la réglementation à chaque poste de dépense énergétique : chauffage et auxiliaires, eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage.

Les données d'entrée sont la consommation par m<sup>2</sup> du parc RT 2005 pour chaque usage précédemment cité et pour 8 typologies de bâtiments résidentiels ou tertiaires. Elles proviennent du CEREN<sup>14</sup> mais ont été travaillées pour correspondre à la consommation du parc RT 2005 sur la zone géographique et à l'altitude

<sup>14</sup> Centre d'Études et de Recherches Économiques sur l'Énergie

du projet. Elles sont exprimées en énergie utile, ce qui permet de partir sur des bases affranchies des systèmes de production.

La méthode utilisée est une méthode par tâtonnement et par itération :

- 1. les ratios en énergie utile du CEREN du parc RT 2005 sont exprimés en énergie finale, pour chaque scénario, en prenant en compte le rendement de l'équipement de production associé à chaque poste de dépense énergétique ;
- 2. le Bbio et le Cep du projet sont calculés et comparés aux valeurs seuils réglementaires ;
- 3. si les deux seuils sont respectés, les ratios sont conservés. Sinon, on applique à chaque poste énergétique des hypothèses réalistes de réduction des consommations (elles sont détaillées plus loin) ;
- 4. on repart à l'étape 2.

Le schéma ci-dessous illustre cette méthodologie, pour un appartement :

**DONNEES D'ENTREE**

Ratio RT 2005 en énergie utile :

	Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage	Climatisation
Appartement	97 kWhe/m <sup>2</sup>	18 kWhe/m <sup>2</sup>	12 kWhe/m <sup>2</sup>	19 kWhe/m <sup>2</sup>	5 kWhe/m <sup>2</sup>	4 kWhe/m <sup>2</sup>

Seuils réglementaires  
Scénario d'approvisionnement

→ Bbio<sub>max</sub> = 72 kWhe/(m<sup>2</sup>.an)  
→ η<sub>eq</sub> = E<sub>u</sub>/E<sub>f</sub>

→ Cep<sub>max</sub> = 70 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)  
→ Vecteur énergétique considéré = E<sub>f</sub>/E<sub>p</sub>

**ÉTAPE 1 – EXPRESSION EN ENERGIE FINALE**

Connaissant le rendement de production de chaque poste énergétique ;  
ratios en énergie finale :

	Chauffage	ECS
Appartement 1	93 kWhef/m <sup>2</sup>	18 kWhef/

**COMPARAISON AVEC LES SEUILS**

→ Bbio = 107 kWhe/m<sup>2</sup> > Bbio<sub>max</sub>  
→ Cep = 136 kWhep/m<sup>2</sup> > Cep<sub>max</sub>

Hypothèses réalistes de réduction des consos :  
- 40 % Chauffage  
- 40 % ECS

**ÉTAPE 2 – REDUCTION DES CONSOMMATIONS**

	Chauffage	ECS
Appartement 1	56 kWhef/m <sup>2</sup>	11 kWhef/

**COMPARAISON AVEC LES SEUILS**

→ Bbio = 68 kWhe/m<sup>2</sup> < Bbio<sub>max</sub>  
→ Cep = 91 kWhep/m<sup>2</sup> > Cep<sub>max</sub>

Hypothèses réalistes de réduction des consos :  
- 60 % Chauffage  
- 40 % ECS

**ÉTAPE N – ATTEINTE DES PERFORMANCES REGLEMENTAIRES**

	Chauffage	ECS
Appartement 1	37 kWhef/m <sup>2</sup>	11 kWhef/

**COMPARAISON AVEC LES SEUILS**

→ Bbio = 42 kWhe/m<sup>2</sup> < Bbio<sub>max</sub>  
→ Cep = 56 kWhep/m<sup>2</sup> < Cep<sub>max</sub>

**Les pourcentages de réduction des consommations appliquées sont réalistes et représentatifs des progrès que la filière est capable de faire.** Il sera par exemple beaucoup plus facile de diminuer le poste Chauffage, en améliorant l'isolation, que de réduire le poste Électricité Spécifique (sur ce poste, on note d'ailleurs plutôt une augmentation des consommations en raison du recours massif au Hifi et à l'électroménager).

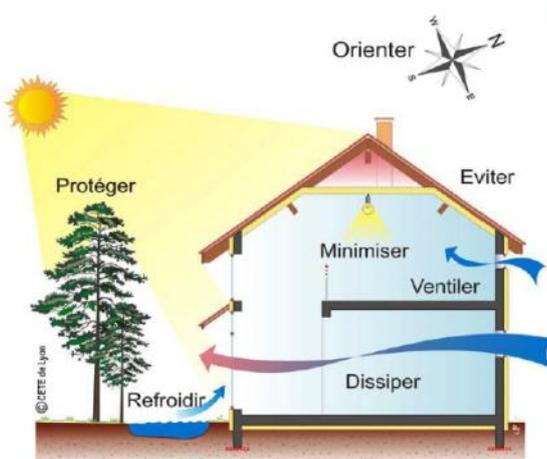
Les hypothèses prises sont tirées de la littérature – CSTB, ADEME, Effinergie, Enertech – et des retours d'expérience de bâtiments neufs ou rénovés.

- Les réductions des consommations du poste Chauffage peuvent atteindre 90% en améliorant le bâti jusqu' à atteindre le niveau exigé pour les bâtiments passifs (15 kWh<sub>eu</sub>/m<sup>2</sup>).
- Les réductions des consommations du poste ECS peuvent atteindre 50% en calorifugeant le ballon, en installant des mousseurs et des robinets thermostatiques.
- Les réductions des consommations du poste Électricité spécifique peuvent atteindre 10% en installant des équipements performants.
- Les réductions des consommations du poste Éclairage peuvent atteindre 50% en installant des équipements performants et en permettant des apports externes de lumière plus importants.
- Les réductions des consommations du poste Climatisation dépendent de la typologie du bâtiment, et des performances de rafraîchissement attendues.
- Pour les logements et les bâtiments d'enseignement la climatisation sera supprimée : une conception bioclimatique et une ventilation réfléchiée permettront, dans ces bâtiments bien isolés, de contrôler et de maîtriser la température interne.
- Pour les commerces, les bureaux, les bâtiments d'activités, un système performant de rafraîchissement avec ventilation et évaporation permettra une réduction de la consommation du poste Climatisation de 75%.

#### Remarque :

La climatisation fait partie des cinq usages pris en compte par la réglementation thermique 2012 dans le calcul des consommations énergétiques d'un bâtiment. Il est donc fondamental qu'elle soit minimale, voire nulle, afin de respecter les seuils réglementaires.

La climatisation peut être évitée via un certain nombre de mesures. Une conception bioclimatique du bâtiment permet :



- **de limiter les apports externes :** une enveloppe isolante permet de bien protéger le bâtiment. L'ensoleillement direct est limité par des brises soleils, des stores extérieurs, des vitrages à très fort facteur solaire.
- **de favoriser la ventilation naturelle :** le positionnement des ouvertures permet de favoriser la ventilation traversante, garantissant le renouvellement de l'air.
- **de maîtriser les apports internes :** dès lors que les apports externes sont limités, les occupants, les équipements de bureautique ainsi que l'éclairage représentent les principaux apports en chaleur du bâtiment. Une bonne conception du bâtiment permet d'optimiser l'éclairage naturel. En complément, des lampes basses consommations peuvent être utilisées. Éviter la mise en veille des appareils de bureautique permet d'en limiter l'apport thermique.

Les dispositifs listés ci-dessus peuvent être complétés via un **rafraîchissement nocturne** (free-cooling), qui permet d'évacuer la chaleur au cours de la nuit. Le renouvellement d'air est accru.

Enfin, une **forte inertie** du bâtiment est indispensable ; elle permet de stocker la chaleur lors de pics de température dans la journée, et la restitue la nuit. L'inertie peut être valorisée grâce à une **dalle active** : des serpentins sont positionnés dans la dalle au moment de sa mise en œuvre et du coulage du béton. Ce système permet un rafraîchissement doux et économique.

### CALCUL DES RATIONS DE PUISSANCE PAR SCENARIO

Pour chaque poste de consommation énergétique, le ratio de puissance appelée a été calculé de la façon suivante :

- **Chauffage** : la puissance appelée pour ce poste est calculée d'après le ratio de consommation calculé précédemment, les Degrés Jours Unifiés et la température minimale de base observée sur le territoire, ainsi que la température intérieure de consigne (en général, 19°C).
- **Eau Chaude Sanitaire** : la puissance appelée pour ce poste est calculée d'après le ratio de consommation calculé précédemment et le type de production : instantané, semi-instantané, à accumulation.
- **Cuisson** : la puissance appelée pour ce poste est tirée de données Enertech.
- **Électricité spécifique** : la puissance appelée pour ce poste est tirée de données Enertech.
- **Éclairage** : la puissance appelée pour ce poste est tirée de données Enertech et de documents de formation ADEME sur les bâtiments basse énergie.
- **Climatisation** : la puissance appelée pour ce poste est tirée d'une étude réalisée par le Centre Énergétique et Procédés de l'École des Mines de Paris.

## RESULTATS

### VECTEURS ENERGETIQUES :

Pour les besoins thermiques, les vecteurs énergétiques [énergie primaire/énergie finale] calculés pour un réseau de chaleur dont le contenu CO<sub>2</sub> du kWh est inférieur à 50 g est de 1,14.

### RATIOS DE CONSOMMATION DES BATIMENTS

Les ratios de consommations utilisés en fonction du type de bâtiment, par usage et suivant la performance énergétique envisagée sont présentés ci-dessous. Les ratios de puissance sont également présentés.

		BEPOS - Scénario rdc bois						
		Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage	Climatisation	Total
Bureaux		40 kWh/m <sup>2</sup>	3 kWh/m <sup>2</sup>	4 kWh/m <sup>2</sup>	58 kWh/m <sup>2</sup>	11 kWh/m <sup>2</sup>	5 kWh/m <sup>2</sup>	120 kWh/m <sup>2</sup>
Activités		84 kWh/m <sup>2</sup>	10 kWh/m <sup>2</sup>	7 kWh/m <sup>2</sup>	96 kWh/m <sup>2</sup>	21 kWh/m <sup>2</sup>	0 kWh/m <sup>2</sup>	218 kWh/m <sup>2</sup>
		BEPOS - Scénario rdc bois						
		Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage	Climatisation	Total
Bureaux		18 W/m <sup>2</sup>	2 W/m <sup>2</sup>	12 W/m <sup>2</sup>	9 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	7 W/m <sup>2</sup>	54 W/m <sup>2</sup>
Activités		39 W/m <sup>2</sup>	9 W/m <sup>2</sup>	21 W/m <sup>2</sup>	15 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	0 W/m <sup>2</sup>	89 W/m <sup>2</sup>
		BEPOS - Scénario Géothermie						
		Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage	Climatisation	Total
Bureaux		62 kWh/m <sup>2</sup>	3 kWh/m <sup>2</sup>	4 kWh/m <sup>2</sup>	58 kWh/m <sup>2</sup>	11 kWh/m <sup>2</sup>	1 kWh/m <sup>2</sup>	138 kWh/m <sup>2</sup>
Activités		84 kWh/m <sup>2</sup>	10 kWh/m <sup>2</sup>	7 kWh/m <sup>2</sup>	96 kWh/m <sup>2</sup>	21 kWh/m <sup>2</sup>	0 kWh/m <sup>2</sup>	218 kWh/m <sup>2</sup>
		BEPOS - Scénario Géothermie						
		Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage	Climatisation	Total
Bureaux		29 W/m <sup>2</sup>	2 W/m <sup>2</sup>	12 W/m <sup>2</sup>	9 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	59 W/m <sup>2</sup>
Activités		39 W/m <sup>2</sup>	9 W/m <sup>2</sup>	21 W/m <sup>2</sup>	15 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	0 W/m <sup>2</sup>	89 W/m <sup>2</sup>
		BEPOS - Scénario Référence						
		Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage	Climatisation	Total
Bureaux		27 kWh/m <sup>2</sup>	2 kWh/m <sup>2</sup>	4 kWh/m <sup>2</sup>	58 kWh/m <sup>2</sup>	11 kWh/m <sup>2</sup>	1 kWh/m <sup>2</sup>	102 kWh/m <sup>2</sup>
Activités		56 kWh/m <sup>2</sup>	10 kWh/m <sup>2</sup>	7 kWh/m <sup>2</sup>	96 kWh/m <sup>2</sup>	21 kWh/m <sup>2</sup>	0 kWh/m <sup>2</sup>	190 kWh/m <sup>2</sup>
		BEPOS - Scénario Référence						
		Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage	Climatisation	Total
Bureaux		12 W/m <sup>2</sup>	2 W/m <sup>2</sup>	12 W/m <sup>2</sup>	9 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	42 W/m <sup>2</sup>
Activités		26 W/m <sup>2</sup>	9 W/m <sup>2</sup>	21 W/m <sup>2</sup>	15 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	0 W/m <sup>2</sup>	76 W/m <sup>2</sup>

## D. PRESENTATION DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE 2012 ET DES LABELS EFFINERGIE

### BATIMENTS CONCERNES ET DATES D'APPLICATION

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<sup>er</sup> 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<sup>er</sup> janvier 2013**.

### PRINCIPES GENERAUX ET DEFINITIONS

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

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

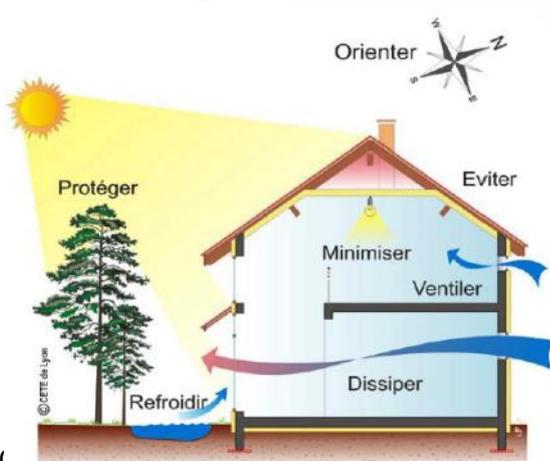
### LES EXIGENCES DE RESULTATS

#### b) Tic : Température Intérieure Conventionnelle

La RT 2012 définit des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement.

Pour ces bâtiments, la réglementation impose que la température la plus chaude atteinte dans les locaux, au cours d'une séquence de 5 jours très chauds d'été n'excède pas un seuil.

#### c) Bbio : Besoins Bioclimatiques



Les **besoins bioclimatiques du bâti – énergie utile pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage – doivent être inférieurs à une valeur seuil,  $Bbio_{max}$** . Cette exigence impose une limitation simultanée du besoin en énergie pour les composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage), imposant ainsi son **optimisation indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre**.

Source : CETE de Lyon

$$Bbio = E_u(\text{chauffage} + \text{refroidissement} + \text{éclairage}) \leq Bbio_{max}$$

La réglementation définit le  $Bbio_{max}$  comme suit :

$$Bbio_{max} = Bbio_{maxmoyen} \times (M_{bgéo} + M_{balt} + M_{bsurf})$$

Avec :

- $Bbio_{maxmoyen}$  : valeur moyenne du  $Bbio_{max}$  qui varie selon la typologie de bâtiment et selon la catégorie CE1/CE2
- $M_{bgéo}$  : coefficient de modulation selon la localisation géographique
- $M_{balt}$  : coefficient de modulation selon l'altitude
- $M_{bsurf}$  : pour les **maisons individuelles, les bâtiments de commerce et les établissements sportifs**, coefficient de modulation selon la surface

Ces coefficients sont présentés de façon plus détaillée au paragraphe d).

#### d) Cep : Consommation conventionnelle d'énergie

L'exigence de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire se traduit par le coefficient  $Cep_{max}$ , portant sur les **consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires (pompes et ventilateurs) ; déduction faite de toute la production d'électricité à demeure**. Conformément à l'article 4 de la loi Grenelle 1, la valeur du  $Cep_{max}$  s'élève à 50 kWh/(m<sup>2</sup>.an) d'énergie primaire, modulé selon la localisation géographique, l'altitude, le type d'usage du bâtiment, la surface moyenne des logements et les émissions de gaz à effet de serre pour le bois énergie et les réseaux de chaleur les moins émetteurs de CO<sub>2</sub>.

Cette exigence impose, en plus de l'optimisation du bâti exprimée par le  $Bbio$ , le **recours à des équipements énergétiques performants, à haut rendement**.

Cette exigence peut se traduire comme suit :

$$Cep = E_p(\text{chauffage} + \text{refroidissement} + \text{éclairage} + \text{ECS} + \text{auxiliaires}) \leq Cep_{max}$$

La réglementation définit le  $Cep_{max}$  comme suit :

$$Cep_{max} = 50 \times M_{ctype} \times (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{c surf} + M_{cGES})$$

Avec :

- $M_{ctype}$  : coefficient de modulation selon la typologie de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2
- $M_{cgéo}$  : coefficient de modulation selon la localisation géographique
- $M_{calt}$  : coefficient de modulation selon l'altitude
- $M_{c surf}$  : pour les **maisons individuelles, accolées ou non, les bâtiments collectifs d'habitation, les bâtiments de commerce et les établissements sportifs**, coefficient de modulation selon la surface
- $M_{cGES}$  : coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées.

Ces coefficients sont présentés de façon plus détaillée au paragraphe d).

#### *Cas particulier des logements collectifs*

Au vu de :

- Une équation investissement / économies d'énergie moins favorable dans le logement collectif que dans la maison individuelle ;
- Une filière industrielle qui doit s'adapter (notamment proposer des pompes à chaleur adaptées au collectif, performantes et à coût maîtrisé)

Pour ne pas pénaliser le logement collectif ; **une consommation supplémentaire de 7,5 kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.an) est autorisée** pour les bâtiments dont le permis de construire est déposé avant le **31 décembre 2014**.

Cela se traduit comme suit :

$$Cep_{max} = 57,5 \times M_{ctype} \times (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{c surf} + M_{cGES})$$

#### *Cas particulier de la production d'électricité sur les logements*

Pour les bâtiments de logements – individuels et collectifs – ayant une production d'électricité à demeure, une consommation supplémentaire est autorisée.

$$Cep \leq Cep_{max} + 12kWh_{ep}/(m^2 \cdot an)$$

### e) Les éléments de modulation

#### Catégories CE1 et CE2

En général, un local est de catégorie CE1. **Certains locaux du fait de leur usage et/ou de leur exposition au bruit combiné(s) à la contrainte climatique sont de catégorie CE2, munis d'un système de refroidissement.** Par exemple :

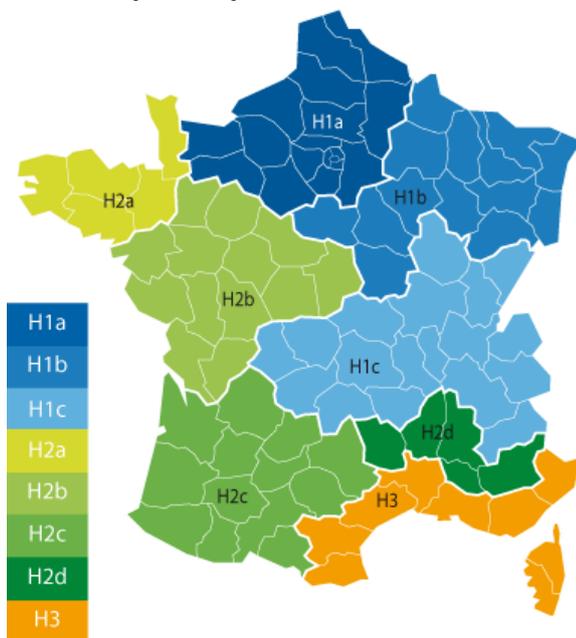
- Locaux situés dans un bâtiment de bureaux dont les baies ne sont pas ouvrables en application d'autres réglementations : par exemple, immeuble de grande hauteur ;
- Locaux situés dans un bâtiment de bureaux exposé au bruit ;
- Locaux situés dans un bâtiment d'enseignement en zone méditerranéenne et exposés au bruit ;
- Locaux à usage d'habitation situés en zone climatique méditerranéenne et exposés au bruit ;

**Pour les locaux CE2, la Réglementation Thermique considère que les locaux remplissant ces exigences ont « besoin » d'être climatisés.** Le niveau d'exigence fixé tient donc compte de consommations de refroidissement.

#### $M_{ctype}$

Ce coefficient tient compte de la typologie du bâtiment et de sa catégorie CE1/CE2. En effet, selon l'activité du bâtiment, il sera plus ou moins énergivore, idem selon sa catégorie. Par exemple, le coefficient affecté à un bâtiment de restauration ouvert 6 jours sur 7 pour 2 repas par jour est de 6 ; celui d'un établissement sportif scolaire de 1,1. Il a donc été considéré que la consommation des cinq usages réglementaires est 6 fois plus élevée pour un restaurant qu'un gymnase scolaire : le restaurant est en effet plus occupé, ses besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire, de rafraîchissement et d'éclairage sont plus importants qu'un gymnase peu occupé et peu chauffé.

#### $M_{bgéo}$ et $M_{cgéo}$



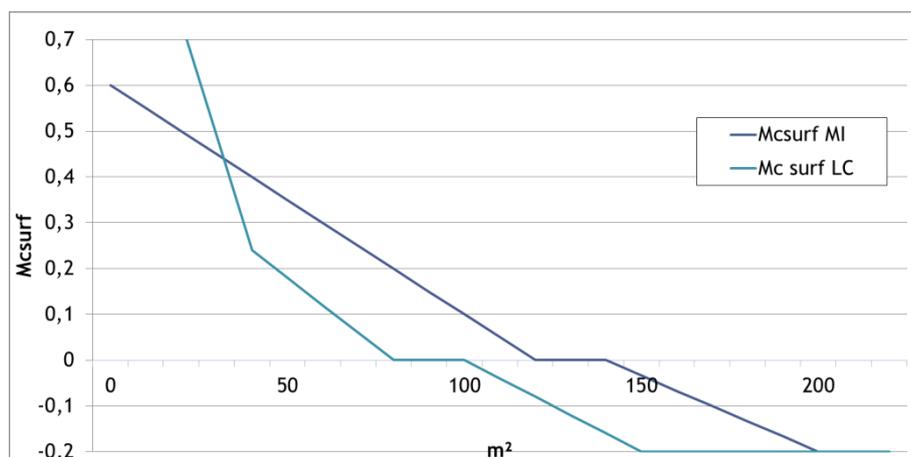
Ces coefficients tiennent compte de l'influence de la position géographique sur la consommation énergétique d'un bâtiment. Un bâtiment au nord de la France sera donc autorisé à consommer plus qu'un bâtiment similaire au sud.

8 zones climatiques – H1a, H1b, H1c, H2a, H2b, H2c, H2d, H3 – sont définies.

#### $M_{balt}$ et $M_{calt}$

Ces coefficients tiennent compte de l'altitude. Un bâtiment à 1 500 m d'altitude sera donc autorisé à consommer plus qu'un bâtiment similaire à 500 m d'altitude ; il aura en effet davantage besoin de se chauffer.

$M_{bsurf}$  et  $M_{csurf}$



Pour ne pas pénaliser les logements de petite surface, l'exigence est modulée selon la surface du logement. Les établissements sportifs et les commerces de grande taille sont moins autorisés à consommer par m² que des bâtiments de même type de plus petite surface.

la taille sont pris égaux à 0.

$M_{cGES}$

Le coefficient  $M_{cGES}$  tend à favoriser les énergies les moins émettrices de CO<sub>2</sub> en accordant une consommation supplémentaire :

- Aux **maisons individuelles ou accolées et bâtiments collectifs d'habitation, aux bâtiments d'enseignement, aux établissements sportifs, aux bâtiments d'habitation communautaire** pour lesquelles le **bois énergie** est l'énergie principale de chauffage et/ou d'ECS
- Aux **tous les types de bâtiments** alimentés par un réseau de chaleur ou de froid, en fonction du **contenu CO<sub>2</sub> du kWh** du réseau

Quelques exemples :

	$M_{cGES}$			
Maison alimentée par du bois énergie	0,3			
École alimentée par du bois énergie	0,1			
	≤ 50 g/kWh	50 à 100 g/kWh	100 à 150 g/kWh	≥ 150 g/kWh
Bureau raccordé à un réseau de froid dont le contenu CO <sub>2</sub>	0,3	0,2	0,1	0
Commerce raccordé à un réseau de chaleur dont le contenu CO <sub>2</sub>	0,15	0,1	0,05	0

Une maison alimentée par du bois énergie a un seuil de consommation réglementaire 30 % plus élevé qu'une maison similaire alimenté par des énergies fossiles.

## LES EXIGENCES DE MOYENS

Pour **tous les types de bâtiments** :

- Traitement des ponts thermiques significatifs ;
- **Comptage d'énergie** par usage et affichage différencié en logement et en tertiaire
- Dispositifs de régulation d'éclairage artificiel parties communes + parkings

Pour les **bâtiments d'habitation** :

- Respect d'un taux minimal de vitrages de 1/6 de la surface habitable en logement
- Traitement de la perméabilité à l'air des logements, avec respect d'une perméabilité à l'air maximale

En particulier, pour les **maisons individuelles, le maître d'ouvrage doit opter pour une des solutions suivantes** :

- Produire de l'eau chaude à partir d'un système **solaire thermique** a minima 2 m² ;

- Être raccordé par un **réseau de chaleur alimenté à plus de 50% par une ENR&R** ;
- Démontrer que la contribution des ENR au Cep du bâtiment est supérieure ou égale à 5 kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.an) ;
- Produire l'ECS via un **chauffe-eau thermodynamique** dont le coefficient de performance est au moins 2 ;
- Recourir à une production de chauffage et/ou d'ECS par une chaudière à **micro-cogénération**, dont le rendement thermique à pleine charge est supérieur à 90% et le rendement électrique supérieur à 10%.

## **LES LABELS EFFINERGIE**

---

Le label Effinergie reprend les exigences de la RT2012 en les renforçant.

Le Label Effinergie+, qui existe depuis 2012, est un label d'application volontaire qui renforce les seuils sur les coefficients  $B_{bio_{max}}$  et  $Cep_{max}$ . Le  $B_{bio_{max}}$  est ainsi réduit de 20%. Le  $Cep_{max}$  est réduit de 20% pour les bâtiments à usage d'habitation, d'enseignement, d'accueil de la petite enfance ou EHPAD et 40% pour les autres.

Le label renforce également les exigences de moyen : perméabilité à l'air des réseaux, information des usagers, etc.

En 2017, Effinergie a lancé 3 nouveaux label afin d'accompagner la future réglementation thermique prévue pour 2018 ou 2020 (BBC2017, BEPOS2017 et BEPOS+2017). Ces labels reprennent les exigences du label Effinergie+ (en intégrant un critère de compacité pour et intègre des éléments supplémentaires issus de l'expérimentation Energie Carbone (voir Annexe E). Le tableau page suivante résume ces exigences.

		Maison individuelle	Logement collectif	Tertiaire
Pré-requis		RT 2012 et E+C-, a minima Energie 2 – Carbone 1		
		RT 2012 et E+C-, a minima Energie 3 – Carbone 1 et bâtiment producteur d'énergie renouvelable		
		RT 2012 et E+C-, a minima Energie 4 – Carbone 1 et bâtiment producteur d'énergie renouvelable		
Exigences communes	Bbiomax	Bbiomax – 20%	Modulation du Bbiomax	Bbiomax – 20%
	Cepmax	Cepmax – 20%	Cepmax – 20% <sup>1</sup>	Cepmax – 40%
	Perméabilité à l'air du bâti	Q4Pa_surf ≤ 0,4 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> <b>Ou</b> formation des ouvriers <b>Ou</b> démarche qualité	Q4Pa_surf ≤ 0,8 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> <b>Ou</b> ≤ 1 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> suivant le type de mesure <b>Ou</b> démarche qualité	Q4Pa_surf inférieur à la valeur prise dans l'étude thermique <b>Ou</b> démarche qualité
	Contrôle des réseaux de ventilation	PROMEVENT Pré-inspection <b>et</b> Vérifications fonctionnelles <b>et</b> Mesures fonctionnelles aux bouches	PROMEVENT Pré-inspection <b>et</b> Vérifications fonctionnelles <b>et</b> Mesures fonctionnelles aux bouches <b>et</b> Mesure d'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques ou démarche qualité	Protocole effinergie Contrôle visuel <b>et</b> Vérification mesures fonctionnelles aux bouches <b>et</b> Mesure d'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques ou démarche qualité
	Qualification des bureaux d'étude	Qualifications OPQIBI 1331 et 1332 "Etudes Thermiques Réglementaires" <b>ou</b> , Certification NF Etudes Thermiques <b>ou</b> , Certification BE NR d'l.cert option "Etudes thermiques réglementaires" <b>ou</b> , Référents CERTIVEA.		
	Commissionnement	Nécessité de mise en place d'un commissionnement		
	Mobilité	Utilisation de l'outil <a href="#">effinergie écomobilité</a>		
	Information aux usagers	Fourniture du guide effinergie et affichage		

## E. LES BATIMENTS A ENERGIE POSITIVE (BEPOS) – LE REFERENTIEL ENERGIE CARBONE (E+C-)<sup>15</sup>

### DEFINITION ET REGLEMENTATION

« Dès 2020, tous les bâtiments neufs seront à énergie positive, c'est-à-dire qu'ils produiront davantage d'énergie qu'ils n'en consomment » - déclaration du précédent président de la République lors de la restitution des conclusions du Grenelle de l'environnement.

À ce jour, il n'y a pas de définition précise et consensuelle d'un bâtiment à énergie positive (BEPOS) et plusieurs questions se posent :

- Peut-on parler d'énergie positive lorsqu'une énergie renouvelable est menée sur site, mais produite ailleurs ?
- Par ailleurs, le comportement des occupants étant essentiel à l'atteinte de l'objectif, quelle sera leur place dans le projet ?

Le comité opérationnel n°1 du Grenelle définit les grandes lignes d'un bâtiment BEPOS en ces termes :

*Ne devraient être éligibles que des bâtiments déjà conformes au label BBC et pour lesquels la consommation d'énergie primaire du bâtiment prévue pour l'ensemble des usages de l'énergie est compensée en moyenne annuelle par la production locale.*

*En complément l'obtention de ce label pourrait intégrer la mise en place d'une information des occupants sur les conditions à respecter pour que le bâtiment puisse être géré tout en atteignant l'énergie positive et une exigence d'affichage des résultats de la consommation et de la production réelle.*

Rapport au ministre de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables  
Comité opérationnel n° 1 « Bâtiments neufs publics et privés »  
Grenelle de l'environnement – CSTB – mars 2008

La définition du PREBAT d'un bâtiment, ou d'un site à énergie positive, est la suivante :

*Un bâtiment ou un site est à énergie positive s'il consomme peu d'énergie et si l'énergie produite sur le site, grâce aux énergies renouvelables, est supérieure à celle consommée (tous usages confondus) en moyenne sur l'année.*

*Les bâtiments à énergie positive doivent permettre par leur qualité architecturale une intégration harmonieuse dans la ville. Ils doivent fournir aux utilisateurs un environnement intérieur sûr, sain et confortable et faciliter des comportements éco responsables.*

*Enfin pour que des bâtiments à énergie positive contribuent à la sobriété énergétique globale, ils doivent nécessiter « peu d'énergie » pour leur construction et leur localisation doit aussi nécessiter « peu d'énergie » pour le transport de leurs utilisateurs.*

Vers des bâtiments à énergie positive  
Proposition de structuration des actions de recherche  
PREBAT - Juin 2009

### INDICATEURS POUR LE SUIVI DES PROJETS

<sup>15</sup> Sources :

- Vers des bâtiments à énergie positive – Proposition de structuration des actions de recherche – PREBAT (Programme de Recherche et d'Expérimentation sur l'énergie dans le Bâtiment) - Juin 2009
- Rapport au ministre d'État, ministre de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables : Comité opérationnel n° 1 « Bâtiments neufs publics et privés » - Grenelle de l'environnement – CSTB – Mars 2008
- <http://www.fiabitat.com/labels-basse-energie.php#4ee>

Le PREBAT recense 4 indicateurs énergétiques pour vérifier si l'énergie positive est obtenue :

- La consommation totale d'énergie primaire du site (sans la prise en compte de la production locale) ;
- Le « bilan énergétique » du site : la consommation totale d'énergie primaire du site diminuée par la production d'énergie renouvelable sur le site. Le bâtiment sera à énergie positive si ce bilan passe en dessous de zéro en moyenne sur l'année.
- L'énergie grise du site (énergie dépensée lors de la construction du site, de son entretien, de sa maintenance et de sa démolition) ;
- L'énergie primaire nécessaire au transport des utilisateurs.

*Attention !* certains points tels que les comportements éco responsables ne sont pas quantifiables ou mesurables, ils auront cependant une influence forte sur les consommations énergétiques durant la phase d'exploitation du site.

Il est important qu'un suivi du projet soit assuré, non seulement sur la performance énergétique, mais également sur les aspects confort d'été, santé, etc.

Selon les caractéristiques des bâtiments, il sera plus ou moins difficile d'atteindre l'objectif de bâtiments positif. Une maison, par exemple, atteindra plus facilement l'énergie positive qu'un immeuble : sa surface de toit par m<sup>2</sup> est plus beaucoup plus grande pour capter l'énergie solaire. La localisation sera également un des paramètres : un logement situé dans le sud de la France atteindra plus facilement l'équilibre production-consommation que le même bâtiment situé dans une région plus froide et moins ensoleillée.

Enfin, un immeuble tertiaire près d'une bouche de métro permettra de réduire les consommations de transport, mais pourra être plus consommatrice pour la construction du bâtiment.

Attention par contre, à ne pas faire la confusion entre énergie positive et émissions de CO<sub>2</sub> nulles (ou « négatives »). Pour les émissions de CO<sub>2</sub>, il faut tenir compte du cycle de vie des matériaux utilisés, leur provenance et leur recyclage en fin de vie.

## LE REFERENTIEL ENERGIE CARBONE

---

Démarche engagée dans le cadre de la loi de transition énergétique pour la croissance verte, l'expérimentation de la performance environnementale des bâtiments ambitionne d'élaborer, avec les acteurs, les standards des bâtiments de demain, via :

- La généralisation des bâtiments à énergie positive
- Le déploiement de bâtiment à faible empreinte environnementale

Dans ce but, un référentiel a été constitué, le référentiel Energie positive, Réduction Carbone ou Energie-Carbone (E+C-). Ce référentiel représente un cadre technique permettant d'évaluer la performance des bâtiments selon les deux axes énergétique et émissions de gaz à effet de serre ainsi que des niveaux de performance classés de 1 à 4 pour l'énergie et 1 à 2 pour le carbone.

Concernant la partie Energie, le référentiel propose de réaliser le bilan des consommations et des productions d'énergie au niveau du bâtiment en énergie primaire et de comparer ce bilan à 4 seuils de références ayant des valeurs décroissantes.

### BILAN BEPOS

Le calcul du bilan énergétique du bâtiment, ou Bilan BEPOS est défini comme la différence entre la somme des consommations d'énergie non renouvelables pour tous les usages du bâtiment (Cep, nr) et la somme des productions d'énergie renouvelable exportées par le bâtiment (Pep, r, ex).

$$\text{Bilan}_{BEPOS} = \text{Cep, nr} - \text{Pep, r, ex}$$

Le **Cep, nr** est calculé en faisant la somme des consommations d'énergie finale pour chaque usage, y compris les parties communes :

- Les 5 usages de la RT2012 : chauffage, ECS, éclairage, ventilation et climatisation

- Les autres usages mobiliers : cuisson, appareils électroménagers, etc.
- Les usages liés aux parties communes : éclairage des parties communes, ascenseurs, éclairage et ventilation des parkings.

A ces consommations d'énergie finales est soustraite la part de production d'énergie réalisée par le bâtiment et réellement autoconsommée par ces usages, c'est-à-dire non injectée sur le réseau électrique ou un réseau de chaleur.

On convertit ensuite cette énergie finale en énergie primaire en appliquant un coefficient de conversion selon la nature de l'énergie consommée :

- 0 pour l'énergie issue de sources renouvelables ou de récupération (y compris le combustible issu du bois) ;
- 1 pour le gaz, le charbon et les produits pétroliers ;
- 2,58 pour l'électricité issue du réseau électrique national ;
- Pour l'énergie provenant d'un réseau de chaleur :  $1 - \text{taux}_{\text{ENR\&R}}$

Le Cep, nr s'approche dans sa définition du Cep de la RT2012 mais il diffère par certains aspects : la prise en compte de nouveaux postes de consommations internes (mobilier, cuisson) et parties communes, l'exclusion des consommations d'énergie renouvelable (bois, chaleur des réseaux de chaleur), la prise en compte de l'autoconsommation réelle.

Le **Pep, r, ex** représente la part d'énergie produite par le bâtiment exportée hors du bâtiment, c'est-à-dire qui n'est pas autoconsommée par les usages mentionnés ci-dessus. Cette production peut être injectée sur le réseau électrique ou sur un réseau de chaleur.

## SEUILS DE PERFORMANCE

**Pour les niveaux ENERGIE 1 et ENERGIE 2**, le bilan énergétique maximal,  $\text{Bilan}_{\text{BEPOS,MAX}}$ , à respecter est défini par :

$$\text{Bilan}_{\text{BEPOS,MAX},i} = 50^{(*)} \times M_{\text{bilan},i} \times Mc_{\text{type}} \times (Mc_{\text{geo}} + Mc_{\text{alt}} + Mc_{\text{surf}}) + Aue_{\text{ref}}$$

\* Pour les bâtiments collectifs d'habitation, cette valeur est portée à 57,5 jusqu'au 31 décembre 2017.

$i$  correspond aux deux niveaux 1 et 2 avec  $M_{\text{bilan},i}$  variant selon le niveau et les typologies :

$M_{\text{bilan},i}$ en kWhep/(m <sup>2</sup> .an)	Maisons individuelles ou accollées	Bâtiments collectifs d'habitation	Bâtiments à usage de bureau	Autres bâtiments soumis à la réglementation thermique
Pour le niveau « Energie 1 », valeur de $M_{\text{bilan},1}$	0,95	0,95	0,85	0,9
Pour le niveau « Energie 2 », valeur de $M_{\text{bilan},2}$	0,9	0,85	0,7	0,8

$Aue_{\text{ref}}$ , correspond à la consommation de référence des autres usages (hors 5 usages de la RT2012) en énergie primaire. Cette valeur est calculée de manière forfaitaire pour chaque usage selon les caractéristiques du bâtiment. Elle est égale à la consommation finale de ces usages ( $Eef_{\text{au}}$ ) multipliée par un coefficient de conversion en énergie primaire (en général 2,58 pour l'électricité) :

$$Eef_{\text{au}} = Eef_{\text{asc}} + Eef_{\text{park}} + Eef_{\text{com, ecl}} + Eef_{\text{usmob}}$$

Les termes de cette consommation correspondent respectivement aux consommations des ascenseurs, parkings, éclairage des parties communes et mobiliers. Ils sont calculés dans notre étude selon la méthode des « valeurs annuelles forfaitaires » du référentiel qui donne des valeurs forfaitaires par m<sup>2</sup> du bâtiment.

La consommation des ascenseurs représente ainsi 2 kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an à laquelle on applique un coefficient de surface habitable (surface utile du bâtiment sur surface RT).

La consommation des parkings dépend du type de parking :

- Pour les parkings couverts : 3 kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an pour l'éclairage et 0,5 kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an pour la ventilation ;
- Pour les parkings extérieurs ou semi-couverts avec éclairage : 0,5 kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an ;
- Pour les autres parkings : 0 kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an.

A cette valeur est affectée un ratio entre la surface de parking et la surface RT du bâtiment et un coefficient entre la surface

La consommation de l'éclairage est fixée à 1,1 kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an.

La consommation du mobilier est calculée suivant la méthode employée pour estimer les consommations des 5 postes de la RT2012 (voir Annexe C) elle correspond à la somme des consommations d'électricité spécifique et de la cuisson.

**Pour le niveau ENERGIE 3**, le bilan énergétique maximal, Bilan BEPOS MAX, à respecter est défini par :

$$Bilan_{BEPOS,max,3} = 50 \times M_{bilan,3} \times Mc_{type} \times (Mc_{geo} + Mc_{alt} + Mc_{surf}) + Aue_{ref} - Pr od_{ref}$$

Prod ref ref correspond à la production d'énergie renouvelable de référence du bâtiment selon sa typologie.

Les valeurs des coefficients sont données dans le tableau ci-après en fonction de la typologie du bâtiment.

	Maisons individuelles ou accolées	Bâtiments collectifs d'habitation	Bâtiments à usage de bureau	Autres bâtiments soumis à la réglementation thermique
Pour le niveau « Energie 3 », valeur de $M_{bilan,3}$	0,8	0,8	0,6	0,8
Pour le niveau « Energie 3 », valeur de $Pr od_{ref}$	20	20	40	20

**Pour le niveau ENERGIE 4**, le bilan énergétique maximal doit être nul ou négatif :

$$Bilan_{BEPOS,max,4} \leq 0$$

**F. LISTE DES FOURNISSEURS LOCAUX DE BOIS ENERGIE**

Nom	Dép.	Contact					Site internet
AGRI Service Environnement SARL	01	Cédric	GARDONI	AMBRONAY	04 74 34 00 26	contact@sarlase.fr	<a href="https://www.sarlase.fr/">https://www.sarlase.fr/</a>
Ain Environnement	01	Olivier	CARLET	CERTINES	04 74 51 69 94		
Bois Négoce Énergie	01	Jean-Christophe	PELLETIER	FARAMANS	03 21 08 75 00		<a href="https://www.bne-bois.fr/web/fr/bois-negoce-energie-4/">https://www.bne-bois.fr/web/fr/bois-negoce-energie-4/</a>
Bresse Bois Énergie	01	Patrice	FONTENAT	BOURG-EN-BRESSE	04 74 21 92 20		<a href="http://www.fontenat.com/bbe-2/">http://www.fontenat.com/bbe-2/</a>
Bois Nergis	69	Franck	FAYOLLE	CHARLY	04 72 30 03 43	franck.fayolle@bois-nergis.fr	<a href="http://www.bois-nergis.fr/">http://www.bois-nergis.fr/</a>

## G. PRESENTATION DES SYSTEMES THERMIQUES EN RESEAU

### LE RÉSEAU DE CHALEUR AU BOIS

#### FONCTIONNEMENT



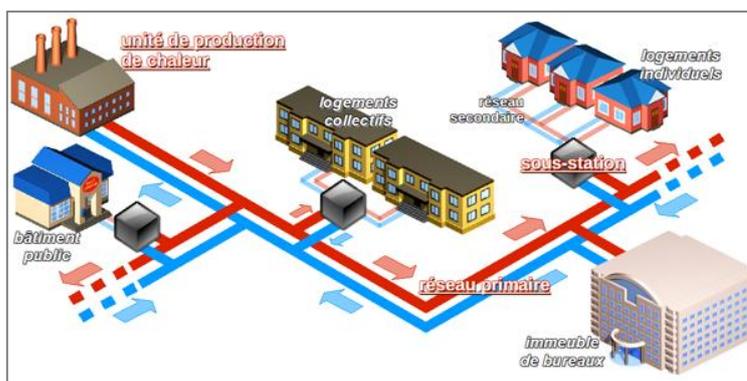
Les **combustibles** utilisés sont les sous-produits forestiers (branchages, petits bois, etc.) et industriels (écorces, sciures, copeaux, etc.) qui sont valorisés sous différentes formes. Pour un réseau de chaleur, étant donnée la puissance de la chaudière bois, on utilise des plaquettes. Les **plaquettes**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

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

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

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

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



#### AVANTAGES DU BOIS ENERGIE

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

- Des ressources locales importantes et une filière d'approvisionnement bien structurée : l'énergie utilisée est renouvelable, aucune pénurie n'est à craindre tant que l'exploitation forestière est réalisée de manière durable. C'est pourquoi les prix sont moins sujets à des fluctuations.
- Un bilan neutre vis-à-vis des gaz à effet de serre : conventionnellement, l'utilisation de la biomasse est considérée comme neutre du point de vue des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) puisque sa combustion émet autant de CO<sub>2</sub> qu'elle n'en a absorbé au cours de sa croissance. À ce titre, le développement de son utilisation, en substitution aux énergies traditionnelles, constitue l'un des leviers privilégiés de la lutte contre le changement climatique.
- Le contexte haussier du prix des énergies traditionnelles : alors que les énergies fossiles ont longtemps été les énergies les moins chères, la récente envolée des prix du pétrole rend compétitive, dans une perspective de long terme, la valorisation des ressources locales comme la biomasse.
- Les progrès techniques et la diffusion massive des matériels a permis une baisse des coûts



d'investissement, la maturité technique des offres bois-énergie n'est aujourd'hui plus à démontrer.

Par ailleurs, la gestion d'un combustible solide comme le bois étant plus compliquée que celle d'un combustible gazeux ou liquide, sa mutualisation en réseau de chaleur est un avantage. De plus, cela permet à un plus grand nombre de consommateurs de bénéficier d'une chaleur propre, renouvelable et produite à partir de ressources locales, à un coût économique intéressant et moins volatile que les énergies fossiles.

#### CONDITIONS A RESPECTER

- S'assurer que le réseau de chaleur est pertinent sur le plan énergétique et économique : rechercher des bâtiments consommateurs et rapprochés de manière à avoir une densité énergétique<sup>16</sup> importante. Une forte densité énergétique garantit une meilleure rentabilité puisque l'investissement consenti pour le réseau est plus facilement amorti (plus d'énergie livrée).
- Veiller à la qualité du combustible utilisé dans la chaudière : plus la puissance de cette dernière est faible, plus les caractéristiques du combustible ont un impact important sur son fonctionnement (mauvaise combustion, rejet de polluants atmosphériques, détérioration des équipements, etc.). Il faut établir un contrat de fourniture précisant les caractéristiques requises ainsi que les pénalités en cas de non-respect du cahier des charges.
- Faire dimensionner par des professionnels expérimentés les différents éléments constitutifs de l'installation afin d'éviter de mauvaises conceptions : accessibilité du silo par les véhicules de livraison, surdimensionnement de la chaudière bois, etc.
- Bien entretenir et régler les équipements.
- Vérifier que les chaudières respectent les normes de rejets auxquelles elles sont soumises et qui garantissent des rejets atmosphériques acceptables. Plus la chaudière est de taille importante, plus la réglementation lui impose des seuils de rejets faibles.

#### DIMENSIONNEMENT

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

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

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

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

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

#### CONTRAINTES

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

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

<sup>16</sup> Rapport entre la quantité d'énergie livrée par le réseau et sa longueur

organisation spécifique. Il faut qu'un acteur se montre intéressé pour porter un tel projet ; le maître d'ouvrage doit ensuite contractualiser avec différents acteurs pour la mise en place des installations puis leur exploitation. Plusieurs montages juridiques sont possibles.

#### ÉLÉMENTS ECONOMIQUES

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

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

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

## LA BOUCLE D'EAU GÉOTHERMIQUE SUR NAPPE

### FONCTIONNEMENT



L'eau de la nappe circule dans un réseau de distribution desservant plusieurs bâtiments : on parle de boucle d'eau. L'eau prélevée dans la nappe via un puits de captage y est ensuite réinjectée via un puits de rejet.

*Remarque :* L'eau circulant dans le réseau étant à la température de l'eau de la nappe, non encore réchauffée, il ne s'agit pas à proprement parler d'un réseau de chaleur.

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

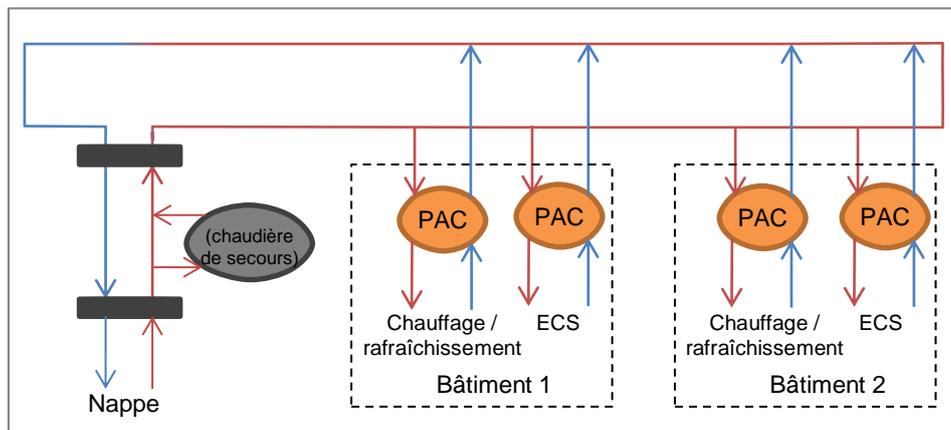


Schéma de principe d'une boucle d'eau

*Remarque :* Il est possible de placer une pompe à chaleur centrale en sortie de nappe et de distribuer l'eau chaude comme dans un réseau de chaleur classique – solution moins onéreuse – mais on perd alors l'avantage de la multiplicité des usages : dans le cas de la boucle d'eau, un bâtiment peut se chauffer pendant qu'un autre se chauffe et produit son eau chaude sanitaire et que simultanément un troisième se rafraîchit. D'autre part, les pertes de chaleur sur le réseau de chaleur sont plus importantes que pour une boucle d'eau puisque la température de l'eau qui y circule est plus élevée.

### AVANTAGES

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

### CONDITIONS A RESPECTER

- Vérifier les capacités de la nappe au regard des besoins en énergie (production de chaleur et production de froid) et des besoins pour les autres usages (eau potable, irrigation, etc.) par une étude hydrogéologique. L'étude hydrogéologique doit examiner les points suivants : caractéristiques

hydrogéologiques de la nappe, potentiel thermique, présence d'autres forages à proximité et éventuelles interactions entre eux, etc.

- Surveiller la température de l'eau de la nappe pour vérifier l'impact de l'installation. En effet, l'eau rejetée dans la nappe après utilisation dans la boucle d'eau sera plus froide en hiver et plus chaude en été. La modification de la température d'une nappe peut avoir d'importantes conséquences sur son équilibre biochimique. Le fait d'effectuer du chauffage l'hiver et de la climatisation l'été est intéressant car il permet un équilibre annuel ; cependant, des impacts saisonniers peuvent être observés.
- Se conformer à la réglementation et aux prescriptions des organismes en charge (police de l'eau, DDT, etc.). Transmettre les caractéristiques de l'ouvrage au BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) qui effectue un suivi des installations existantes.
- Installer des pompes à chaleur capables de démarrer à vide ou équipées d'un démarrage progressif pour limiter l'appel de puissance.
- Choisir une pompe à chaleur dont le coefficient de performance (COP) est élevé : pour cela, se rapprocher de l'ADEME qui donne le COP minimal pour bénéficier des aides disponibles.
- Faire installer les pompes à chaleur pour des installateurs agréés QualiPAC ; faire réaliser les forages par une entreprise agréée Qualiforage. Ces agréments sont délivrés par l'association Qualit'EnR qui promeut la qualité des prestations des professionnels des énergies renouvelables.
- Vérifier l'accessibilité du site aux engins de forage.
- Privilégier des émetteurs de chaleur fonctionnant à basse température (planchant chauffant / rafraîchissant, radiateurs basse température, etc.) afin d'améliorer les performances des pompes à chaleur.

#### DIMENSIONNEMENT

Une nappe présentant un débit de 100 m<sup>3</sup>/h et une température de 12°C fournit une puissance thermique d'environ 700 kW. En considérant que la pompe à chaleur associée au forage a un COP de 3,5, la puissance thermique fournie au bâtiment ou au réseau de chaleur est d'environ 975 kW.

#### BATIMENTS CIBLES

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

#### ÉLÉMENTS ECONOMIQUES

- L'investissement pour une pompe à chaleur s'élève à 300 €/kW environ.
- Un forage sur nappe coûte environ 2 000 € par mètres forés. Cette valeur est très variable en fonction des caractéristiques du site.