

**ANNEXE 2 :  
ETUDE DE FAISABILITE SUR LE POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT EN ENERGIES  
RENOUVELABLES POUR LE PROJET DE CENTRE DE TRI DE COLIS DE LA  
SOCIETE ARGAN A FOURNES**

**ETUDE DE FAISABILITE DES  
APPROVISIONNEMENTS EN ENERGIE POUR LA  
CREATION D'UN CENTRE DE TRI DE COLIS SUR  
LA COMMUNE DE FOURNES**



AVRIL 2019

AXENNE



**MAITRE D'OUVRAGE**     **ARGAN**  
21 rue Beffroy  
92 200 NEUILLY-SUR-SEINE  
Tél. : 01 47 47 47 37



**PRESTATAIRE**     **AXENNE**  
73, cours Albert Thomas  
69 447 LYON Cedex 03  
Tél. : 04 37 44 15 80



Version	Date de rendu	Nature de la modification	Auteurs
1	Avril 2019	Rendu initial	M.DUPOIS

# SOMMAIRE

<b>PRESENTATION DU SITE</b>	<b>5</b>	
<b>1</b>	<b>CONTEXTE</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>PROGRAMMATION</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>PERFORMANCE DES BATIMENTS</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>BATIMENTS EXISTANTS A PROXIMITE</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>CONSOMMATIONS THERMIQUES</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>OPPORTUNITE DE CREATION D'UN RESEAU DE CHALEUR OU DE FROID</b>	<b>6</b>
<b>GISEMENT DISPONIBLE EN ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION</b>	<b>7</b>	
<b>7</b>	<b>FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE THERMIQUE</b>	<b>7</b>
7.1	ÉNERGIE SOLAIRE	7
7.2	BIOMASSE COMBUSTIBLE	10
7.3	GEO THERMIE	13
7.4	HYDROTHERMIE	16
7.5	AEROTHERMIE	17
7.6	CHALEUR FATALE	18
7.7	RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT	18
<b>8</b>	<b>FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE</b>	<b>19</b>
8.1	ÉNERGIE SOLAIRE	19
8.2	ÉNERGIE EOLIENNE	20
<b>9</b>	<b>RECAPITULATIF DES POTENTIALITES DU TERRITOIRE</b>	<b>24</b>
<b>SOLUTIONS D'APPROVISIONNEMENT ENERGETIQUE PERTINENTES</b>	<b>25</b>	
<b>10</b>	<b>LES DIFFERENTS SYSTEMES ADAPTES</b>	<b>25</b>
<b>11</b>	<b>SOLUTION 1 : SOLUTION PRESSENTIE</b>	<b>26</b>
11.1	DESCRIPTION	26
11.2	CONSOMMATIONS ENERGETIQUES	26
11.3	EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE	27
11.4	BILAN ECONOMIQUE	27
<b>12</b>	<b>SOLUTION 2 : SOLUTION GEO THERMIQUE</b>	<b>28</b>
12.1	DESCRIPTION	28
12.2	CONSOMMATIONS ENERGETIQUES	28
12.3	EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE	29
12.4	BILAN ECONOMIQUE	29
<b>13</b>	<b>SOLUTION RETENUE</b>	<b>30</b>

<b>ANNEXES</b>	<b>31</b>
<b>A. DEFINITION DES ENERGIES DITES UTILES, FINALES, PRIMAIRES</b>	<b>31</b>
<b>B. METHODOLOGIE POUR L'ESTIMATION DES BESOINS ENERGETIQUES</b>	<b>33</b>
<b>C. PRESENTATION DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE 2012</b>	<b>38</b>
<b>D. LISTE DES FOURNISSEURS LOCAUX DE BOIS ENERGIE</b>	<b>43</b>

# PRESENTATION DU SITE

## 1 CONTEXTE

### LOCALISATION

Le projet est situé au nord de la commune de Fournès.  
L'ensemble de la ZAC représente une zone de 13,7 ha.

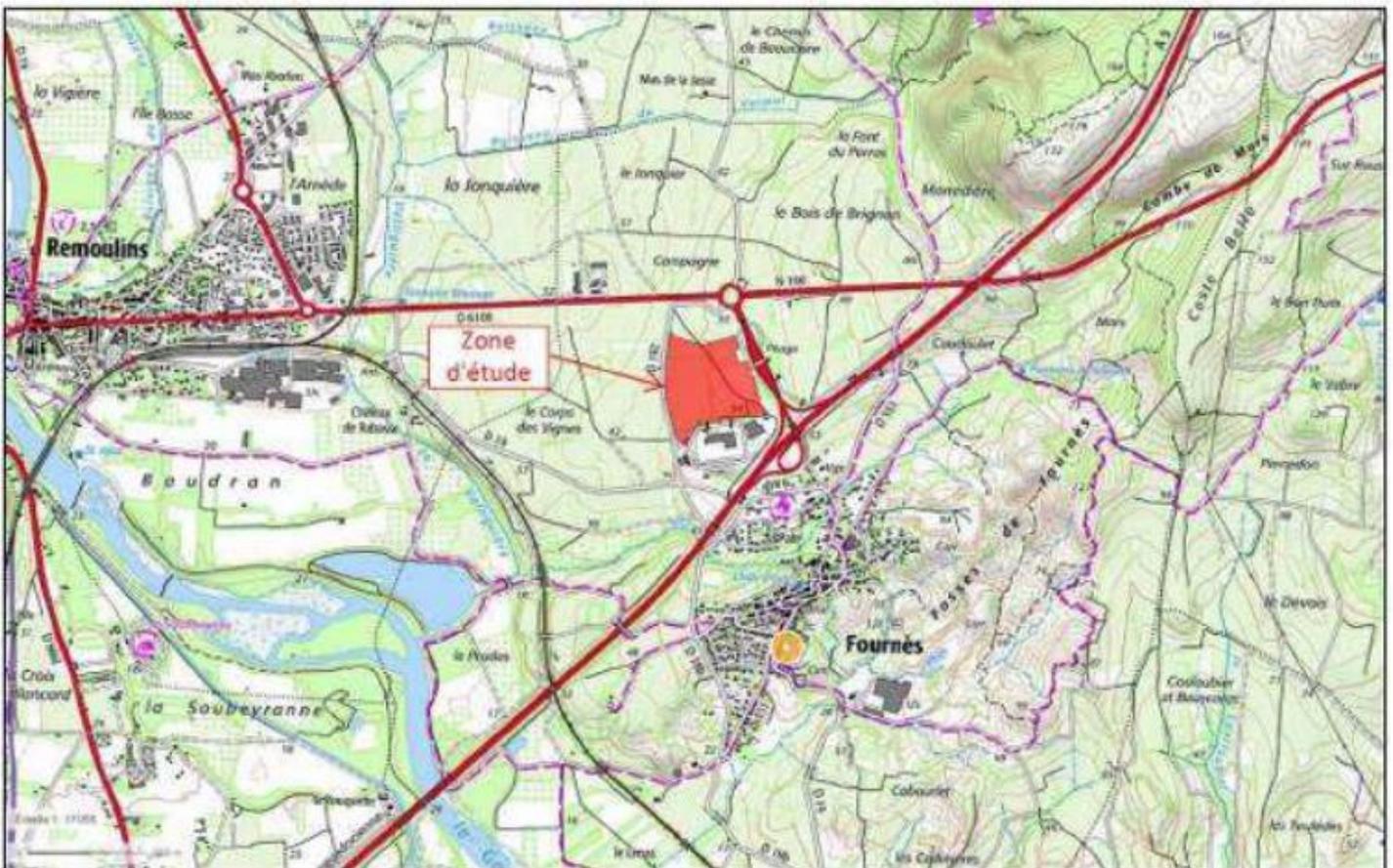


Figure 1 : Vue aérienne du site du projet

### ACCESSIBILITE

Le site sera desservi au nord et au sud par la D192.

### TOPOGRAPHIE

L'altitude du site se situe entre 45 et 55 m ; le terrain est globalement plat sur la zone de construction.

### OCCUPATION DU SOL

Le site est majoritairement occupé par des espaces agricoles.

## 2 PROGRAMMATION

Le projet concerne la création d'un centre de tri de colis pour une surface totale de plancher de 38 848 m<sup>2</sup>.

Le projet comprend plusieurs espaces ayant différents usages :

- Hall d'exploitation (entrepôts) : 35 577 m<sup>2</sup>
- Bureaux : 3 271 m<sup>2</sup>

Parmi les bâtiments de type « bureaux », on distingue les bureaux à proprement parler, les sanitaires, les vestiaires, la cafeteria ainsi que les deux locaux destinés aux chauffeurs routiers au nord et au sud.

## 3 PERFORMANCE DES BATIMENTS

On considère que les bâtiments de la ZAC verront leurs PC déposés avant 2020 et respecteront par conséquent la RT 2012. La définition et les hypothèses prises en compte pour la réglementation sont décrites aux annexe B.

## 4 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 immédiats du site on trouve la déchetterie communale du Syndicat Intercommunal de Collecte et de Traitement Des Ordures Ménagères (SICTOMU) ainsi que des bâtiments logistiques de la société FRANCE BOISSONS AVIGNON – NIMES. Ces bâtiments ne présentent pas des besoins de chaleur ou de froid significatifs pouvant faire l'objet d'une mutualisation d'approvisionnement.

Le reste des constructions est composé des logements individuels qui présentent probablement une densité énergétique insuffisante pour envisager de les raccorder 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 le projet.

## 5 CONSOMMATIONS THERMIQUES

Les besoins de chauffage et de climatisation varient selon les bâtiments :

- Les entrepôts ont une température de consigne de 16°C en hiver et 27°C en été
- Les autres bâtiments de 21°C en hiver et 24°C en été.

Les besoins d'eau chaude sanitaire (ECS) sont limités aux sanitaires, présents au niveau des bureaux et des locaux chauffeurs.

## 6 OPPORTUNITE DE CREATION D'UN RESEAU DE CHALEUR OU DE FROID

Comme nous l'avons vu précédemment (voir 4) aucun bâtiment à proximité du site ne présente des consommations de chaleur et/ou de froid importantes permettant d'envisager la création d'un réseau de chaleur visant à mutualiser leur approvisionnement en énergie.

# GISEMENT DISPONIBLE EN ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION

## 7 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE THERMIQUE

### 7.1 ÉNERGIE SOLAIRE



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

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

#### 7.1.1 GISEMENT

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

#### DONNEES METEOROLOGIQUES

Les données météorologiques (températures extérieures, rayonnement, vitesse de vent) sont issues du logiciel Météonorm V7. Les stations prises en références pour élaborer le climat sur le territoire sont Nîmes/Orange/Nîmes-Garons aéroport.

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 : Fournès				
Altitude : 48 m				
Latitude : 43,94 °				
Longitude : 4,60 °				
MOIS	Ensoleillement à l'horizontale (en Wh/(m².j))	Température mini	Température moyenne	Température maxi
Janv	1 710	2,9	6,8	10,7
Févr	2 549	3,5	7,8	12,1
Mars	4 065	6,1	10,9	15,6
Avr	5 267	8,8	13,6	18,4
Mai	6 258	12,9	18,0	23,0
Juin	7 200	16,9	22,2	27,4
Juil	7 419	18,9	24,3	29,7
Août	6 000	18,7	24,1	29,4
Sept	4 567	14,4	19,3	24,2
Oct	2 839	11,7	16,0	20,2
Nov	1 933	6,7	10,5	14,2
Déc	1 484	3,0	6,8	10,6

Total annuel : 1564 kWh/(m².an)

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

Figure 2 : Données mensuelles d'ensoleillement et de température

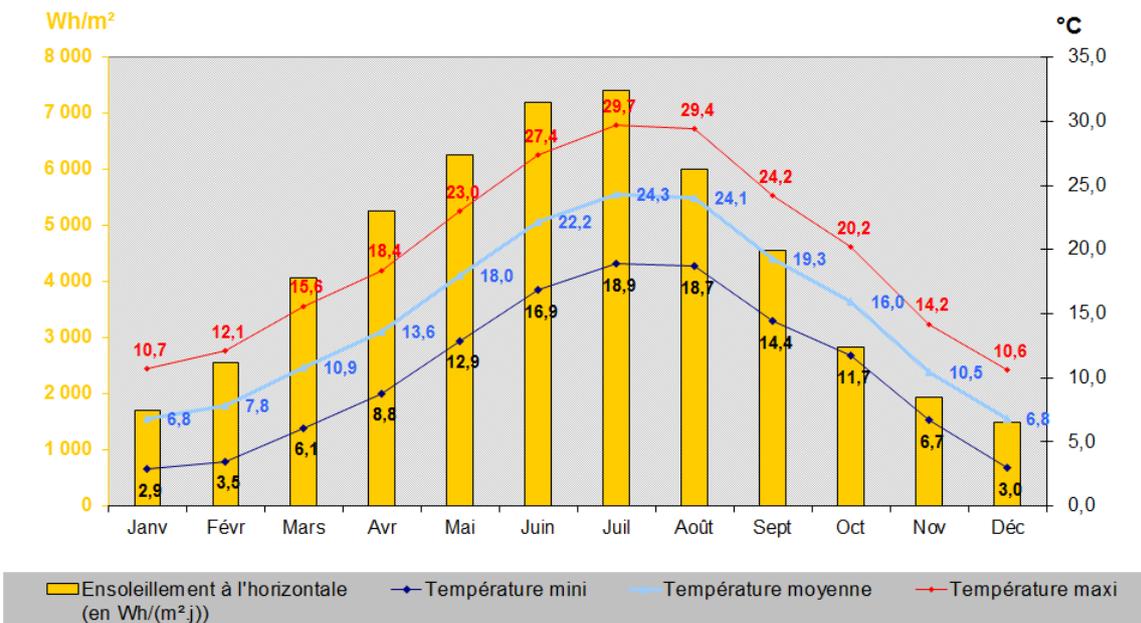


Figure 3 : Courbes mensuelles d'ensoleillement et de température à Fournès

## CARTOGRAPHIE DE L'ENSOLEILLEMENT

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

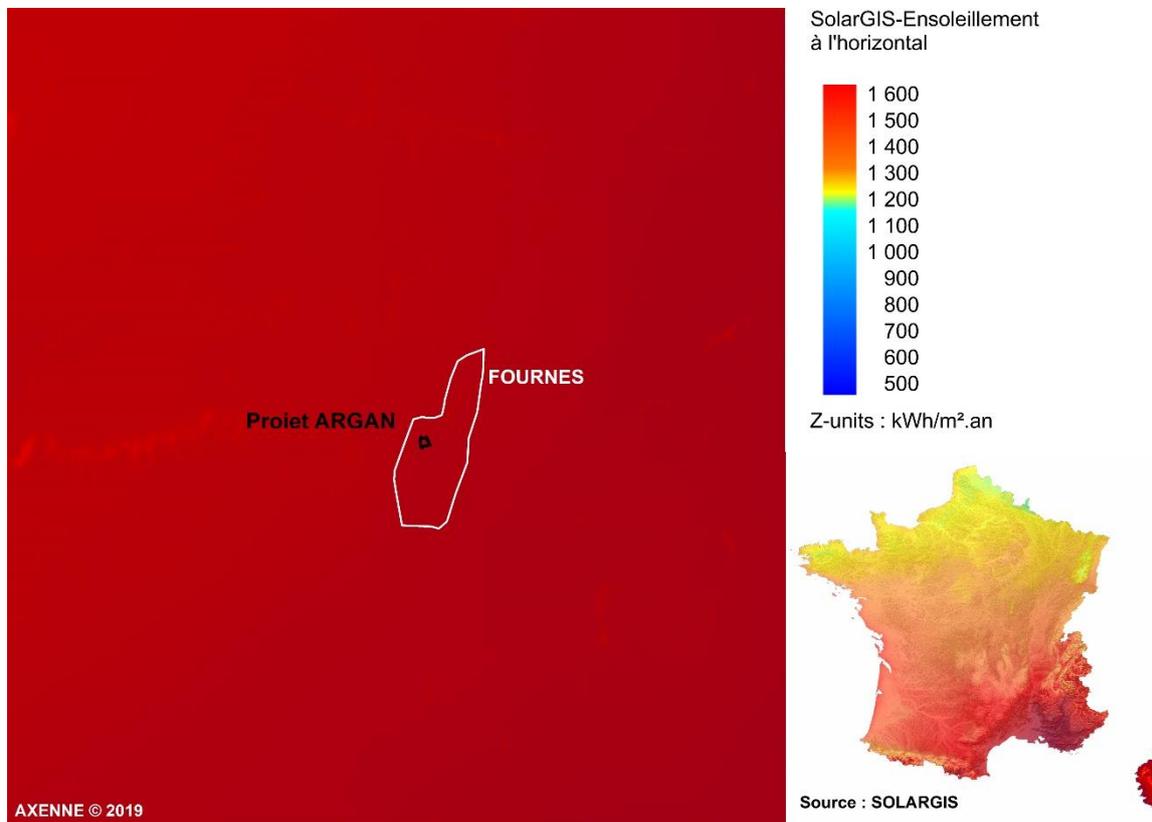


Figure 4 : Ensoleillement moyen annuel sur le territoire, prise en compte du relief

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

La zone d'étude bénéficie d'un ensoleillement annuel au-dessus de la moyenne nationale de 1560 kWh/m<sup>2</sup> par an sur l'ensemble du site.

### 7.1.2 PRODUCTIBLE

L'inclinaison des capteurs est optimisée pour une production d'eau chaude en hiver ; l'inclinaison des capteurs est donc importante au regard de la hauteur du soleil durant cette période de l'année (les capteurs produisent le maximum d'énergie lorsque les rayons du soleil arrivent à 90° dans le plan du capteur).

Avec les hypothèses mentionnées ci-dessus, la productivité des capteurs est de 600 kWh/m<sup>2</sup>.

L'installation solaire thermique peut être utilisée pour alimenter en eau chaude sanitaire des logements collectifs et individuels, ainsi que d'autres bâtiments si ceux-ci présentent des consommations importantes d'ECS et régulières sur l'année.

### 7.1.3 CONTRAINTES

#### 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 du projet est située hors de toutes zones de protection du patrimoine (sites inscrits, sites classés, site patrimonial remarquable). Les monuments historiques présents autour du site sont situés à plus de 500 m.

### 7.1.4 POTENTIEL

Des capteurs solaires thermiques peuvent être mis en place sur tous les bâtiments, il n'y a pas de contraintes réglementaires. **Toutefois, les besoins en ECS des bâtiments sont trop faibles et irréguliers pour envisager le recours à ce type de systèmes.**

## 7.2 BIOMASSE COMBUSTIBLE



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

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

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

### 7.2.1 GISEMENT

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

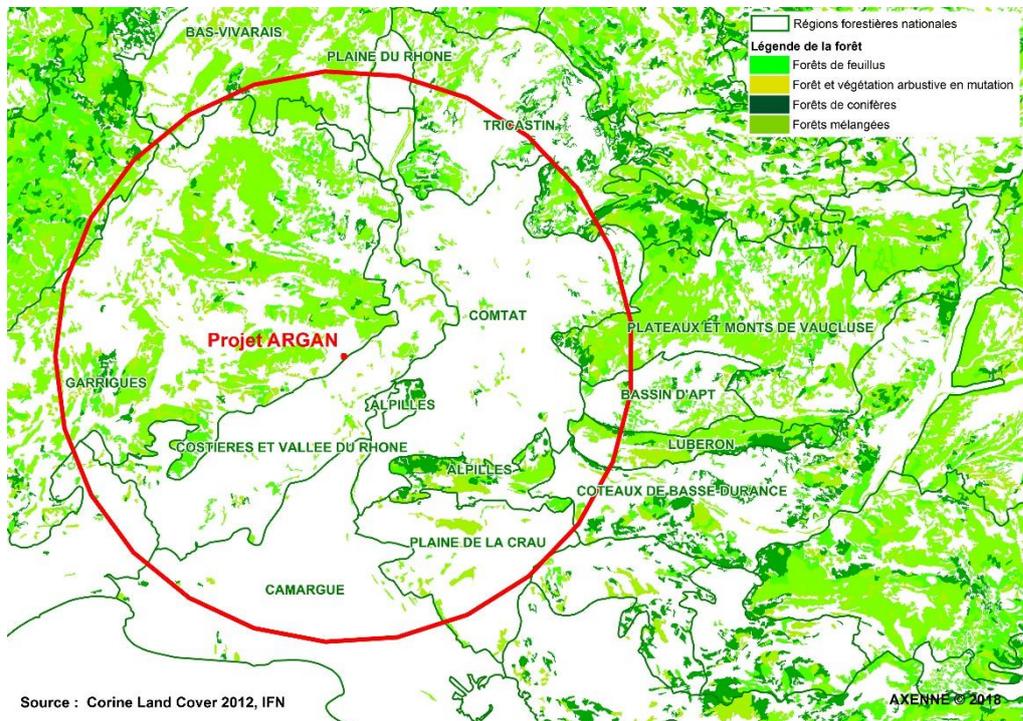
Le gisement est constitué de la ressource forestière (taillis, rémanents d'exploitation, etc.), mais également des sous-produits des industries du bois (sciures, copeaux, écorces, dosses, etc.), des bois de rebut non souillés (palettes, cagettes, etc.) et des résidus d'élagage. La plupart de ces matériaux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

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

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

**Ressource forestière :**

La 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 5 : La forêt et les régions forestières autour du site (carte : AXENNE)**

Le site du projet se trouve sur la région forestière des GARRIGUES. La région forestière des Garrigues occupe toute la partie centrale du département du Gard et déborde largement sur le nord-est du département de l’Hérault. La forêt occupe 162 705 hectares soit 40,1% de la superficie totale des Garrigues (**103 793 ha dans le Gard soit 37,2 %** et 58 912 ha dans l’Hérault soit 46,6%).

Dans le Gard, de 1983 à 1993, la surface boisée s’est accrue de 31 583 hectares (soit 43,7% de la surface boisée), ce qui a augmenté le taux de boisement de 11,3%.

L’étude sur la valorisation énergétique de la biomasse dans le cadre de l’élaboration du Schéma Régional des Énergies renouvelables du Languedoc-Roussillon précise le gisement net mobilisable en bois énergie par région forestière.

Le gisement net mobilisable est très important sur les régions forestières à proximité du projet, toutefois il existe un certain nombre de freins qui pèsent sur sa mobilisation : surfaces de forêt privée détenue par plusieurs milliers de propriétaires, absence d’une culture forestière qui entraîne une non-implication dans la gestion forestière, revenus trop faibles étant donnés les prix du marché pour motiver les propriétaires à s’engager dans un acte de commercialisation, peu de contrats d’approvisionnement, peu de mutualisation des chantiers forestiers, etc. Cela signifie qu’il n’est pas possible aujourd’hui de mobiliser l’intégralité du gisement net ; cependant, l’importance de ce gisement signifie qu’une marge de manœuvre de production supplémentaire de combustibles bois existe bel et bien, d’autant que des fournisseurs sont présents sur le département et à proximité.

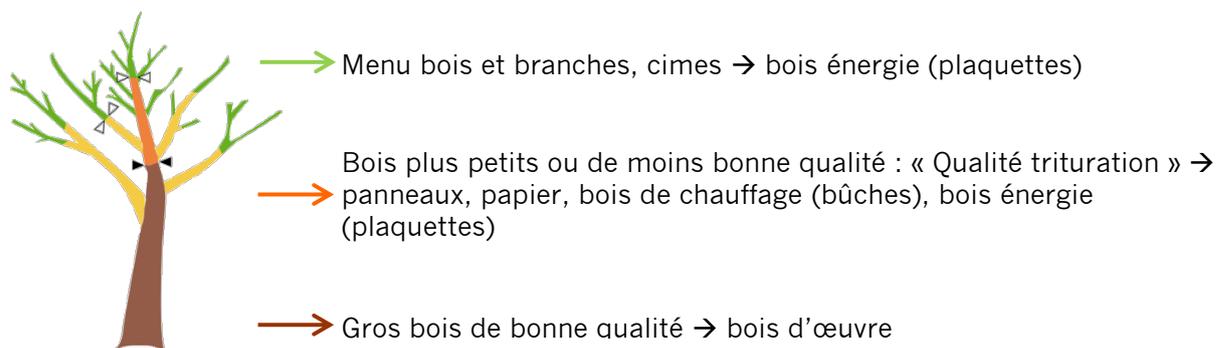


Figure 6 : Illustration des différentes qualités de bois

## 7.2.2 FOURNISSEURS LOCAUX

Une liste non exhaustive de ces entreprises et de leurs coordonnées est fournie en annexe E. Il y a environ une dizaine de fournisseurs sur le département du Gard.

## 7.2.3 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 D192. 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.

## 7.2.4 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 d'immeuble ou un réseau de chaleur au bois énergie.

### 7.3 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).

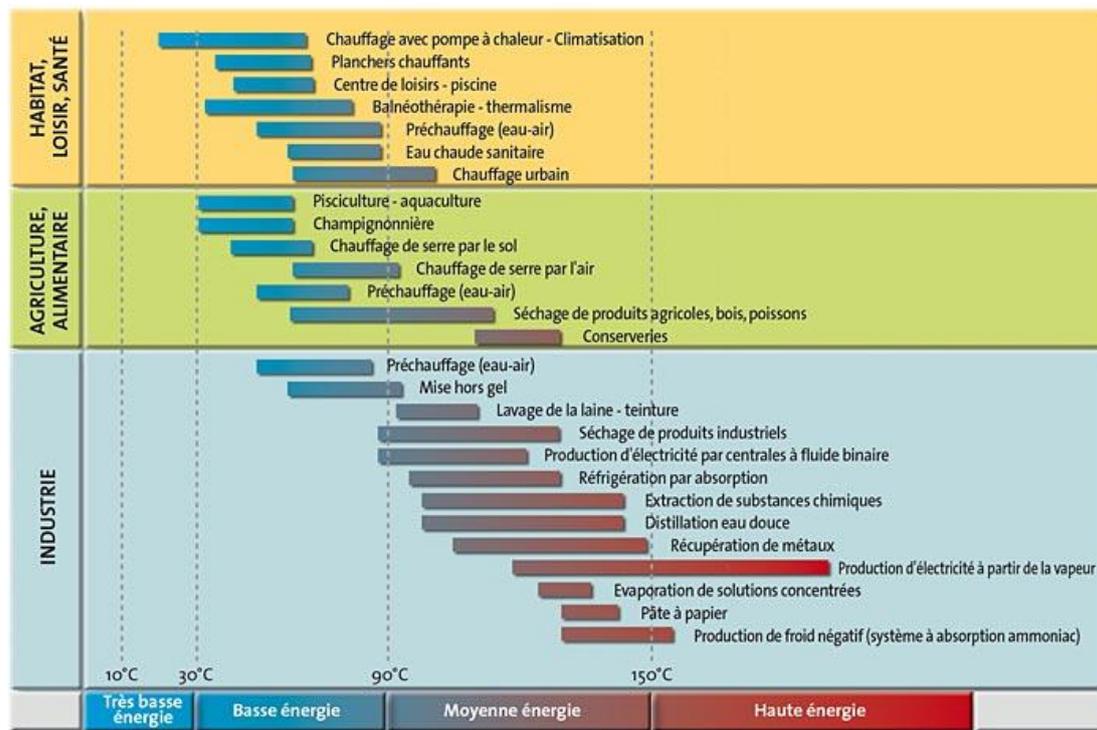


Figure 7 : Principales utilisations de la géothermie en fonction des températures (Source : Géothermie Perspectives)

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 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>1</sup>.

### 7.3.1 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.

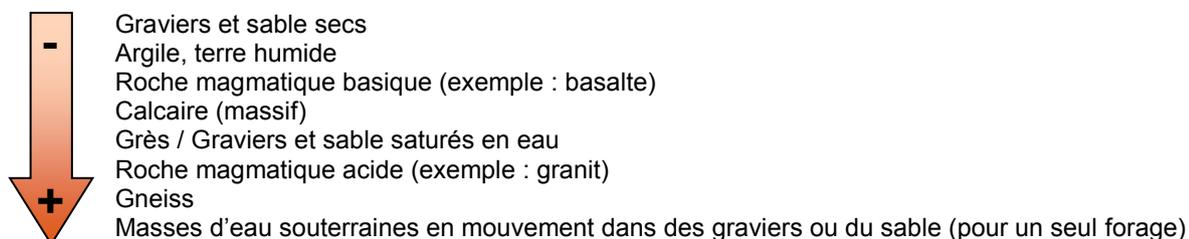
Parmi les pompes à chaleur, plusieurs technologies existent, qui se distinguent suivant leur type de capteurs :

- **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.

#### POMPES A CHALEUR SUR CAPTEURS VERTICAUX

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



Les caractéristiques du sol ne sont pas connues sur le site ni aux abords. Cependant, d'une manière générale, **la mise en place de pompes à chaleur sur capteurs verticaux est possible et intéressante partout en France, donc également sur le territoire de la ZAC.** Il serait toutefois nécessaire de réaliser un test de réponse thermique du terrain pour connaître précisément la capacité thermique du terrain.

<sup>1</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).

### 7.3.2 CONTRAINTES DU SITE

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

Le BRGM et le CEREMA ont établi une carte des zones relatives à la géothermie de minime importance<sup>2</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 site est éligible à la géothermie de minime importance sur capteurs verticaux sans contraintes (zone verte).

### 7.3.3 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 thermique sont nécessaires pour identifier précisément la puissance spécifique qui pourra être mobilisée.

<sup>2</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.

## 7.4 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).

### 7.4.1 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 Languedoc-Roussillon. Pour chaque aquifère superficiel, des données telles que la profondeur, l'épaisseur, la température, le débit, la minéralisation, le potentiel géothermique voire la puissance possible à installer, etc. sont disponibles.

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

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

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

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

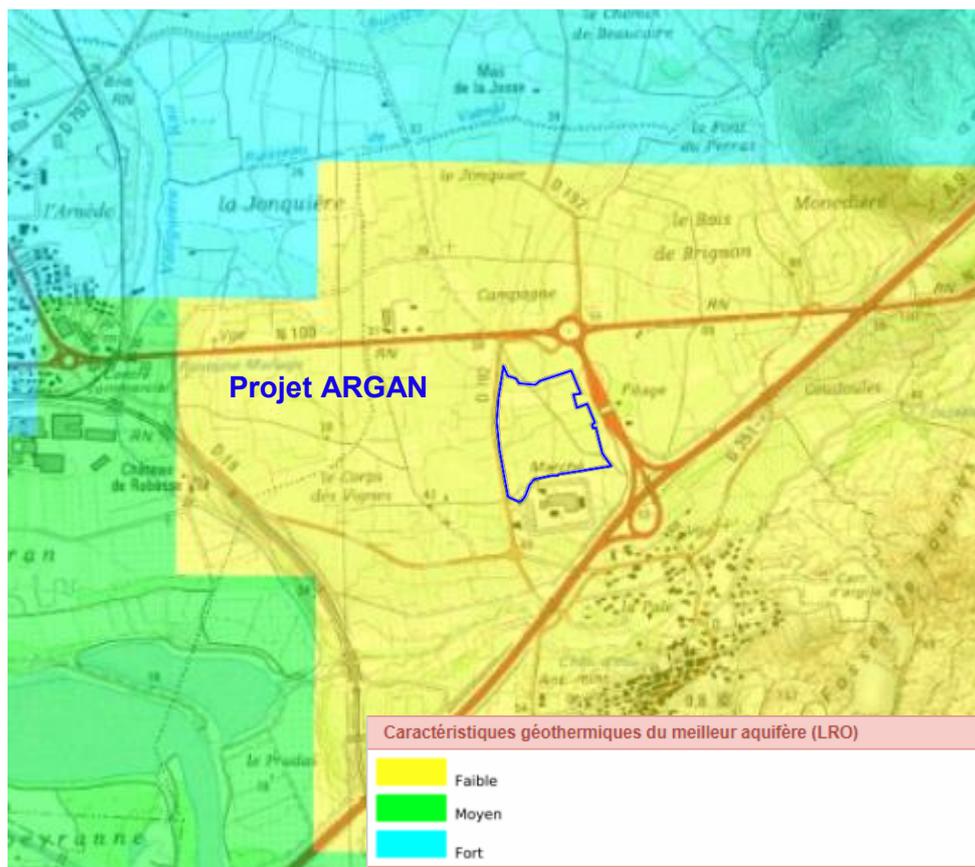


Figure 8 : Caractéristiques géothermiques du meilleur aquifère (source : BRGM)

Le meilleur aquifère présent au droit du site présente un débit mobilisable de l'ordre de 7 m<sup>3</sup>/h. Son potentiel est considéré comme faible au droit du site. Le débit mobilisable est insuffisant pour envisager le recours à cette solution pour l'approvisionnement du projet.

## 7.4.2 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 site est éligible à la géothermie de minime importance sur nappe sans contraintes (zone verte).

## 7.4.3 POTENTIEL

**Le potentiel du meilleur aquifère situé au droit du site d'étude est faible. La géothermie sur nappe n'est pas une solution à privilégier pour assurer l'alimentation énergétique du projet.**

## 7.5 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).

### 7.5.1 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.

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

#### SUR AIR VICIE

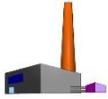
L'air extrait d'un bâtiment lors du processus de renouvellement d'air est chaud ; il est dommage de perdre les calories qu'il contient, sachant qu'il faut chauffer l'air extérieur froid qui le remplace. Deux applications principales existent pour récupérer la chaleur contenue dans l'air vicié :

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

*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 n'est pas le cas ici.

## 7.6 CHALEUR FATALE



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

### 7.6.1 GISEMENT

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

### 7.6.2 POTENTIEL

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

## 7.7 RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT

### 7.7.1 CONTEXTE



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

### 7.7.2 GISEMENT

Il n'existe aucun réseau de chaleur ou de froid dans les environs du projet.

### 7.7.3 POTENTIEL

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

## 8 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE

### 8.1 ÉNERGIE SOLAIRE



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

#### 8.1.1 GISEMENT

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

*Voir § 1.1 pour plus d'informations.*

#### 8.1.2 PRODUCTIBLE

Le productible d'une installation solaire photovoltaïque est illustré sur la toiture du bâtiment principal.

Caractéristiques de l'installation (simulation PVSYST) :

- 500 kWc en technologie polycristallin,
- environ 3 000 m<sup>2</sup> de modules photovoltaïques polycristallins,
- orientation est-ouest avec 96° d'azimut (axe du faitage décalé de 6° par rapport à l'axe nord-sud)
- inclinaison de la toiture à deux pans à 2°.

Avec ces hypothèses, l'installation produit environ 620 MWh/an, soit 1240 h/an de fonctionnement à puissance nominale.

#### 8.1.3 CONTRAINTES

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

#### 8.1.4 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 pourrait être sollicitée pour contribuer à l'approvisionnement en électricité du site.

## 8.2 ÉNERGIE EOLIENNE



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

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

### 8.2.1 PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE

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

#### ÉOLIENNES A AXE HORIZONTAL

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

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

#### ÉOLIENNES A AXE VERTICAL

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

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

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

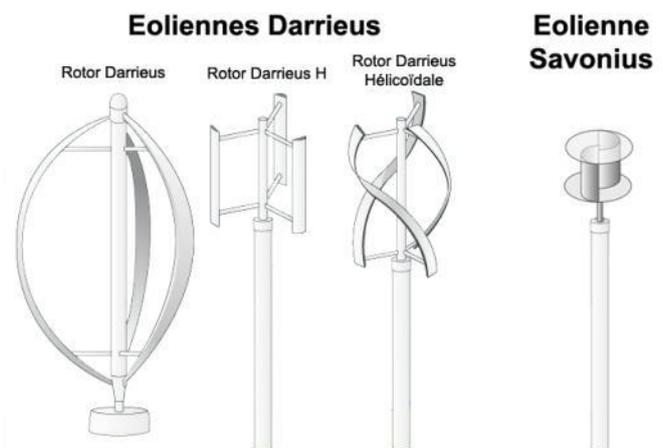


Figure 9 : Éoliennes de type Darrieus et Savonius

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.

## 8.2.2 GISEMENT

La station météorologique de référence est la station de Nîmes-Courbessac. La rose des vents donne une représentation graphique de la fréquence des vents par direction, pour trois classes de vent.

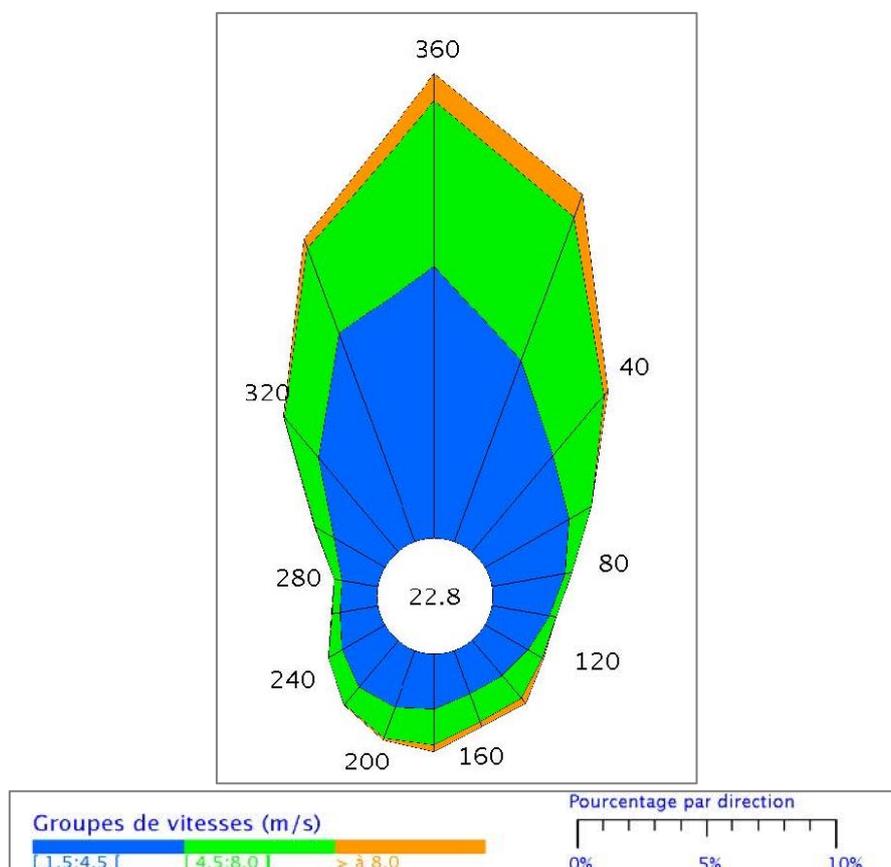


Figure 10 : Rose des vents à la station de Nîmes-Courbessac (source : étude d'impact)

Le vent dominant est le vent du nord (Mistral).

La vitesse de vent est comprise entre 4,5 et 8 m/s près du quart du temps, et supérieure à 8 m/s plus de 2,6% du temps.

## 8.2.3 PRODUCTIBLE

Les vents dominants soufflent du Nord (mistral). La répartition des groupes de vitesses du vent laisse apparaître pendant près de 30% du temps, une vitesse de vent supérieure à 4,5 m/s.

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

les plus hauts et dans l'axe des vents dominants pour s'affranchir au maximum des perturbations créées par les autres bâtiments qui seront construits.

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.

### 8.2.4 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.

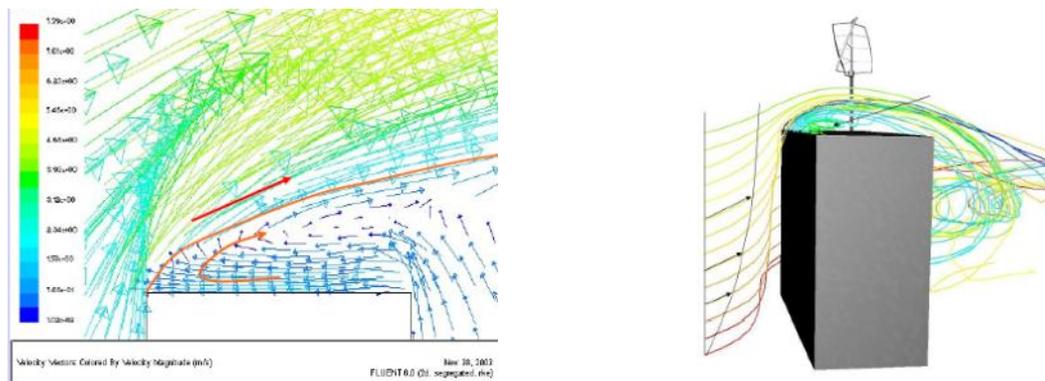


Figure 11 : Comportement du vent dans un environnement urbain (source : DVH)

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

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

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

### 8.2.5 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.

### 8.2.6 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). La mise en œuvre de cette technologie sur le site aurait une valeur d'exemplarité seulement.

# 9 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 du site :

		Énergie considérée	Gisement intéressant	Remarques	
CHALEUR		SOLAIRE THERMIQUE	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pas de contraintes réglementaires</li> <li>■ Besoins en ECS insuffisants et irréguliers</li> </ul>	
		BOIS ENERGIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ressources et offre disponibles</li> </ul>	
		GEOthermie TRÈS BASSE ENERGIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pas de contraintes réglementaires</li> <li>■ Caractéristiques du sous-sol non connues précisément</li> <li>■ Test en réponse thermique nécessaire</li> </ul>	
		HYDROTHERMIE	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Potentiel insuffisant sur nappe superficielle</li> </ul>	
		AEROTHERMIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sur air extérieur</li> <li>■ Sur air vicié pour le chauffage seulement</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	ÉOLIEN URBAIN	Non connu	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Valeur d’exemplarité uniquement</li> <li>■ Gisement de vent non connu précisément sur le site</li> </ul>
		GRAND EOLIEN	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Proximité d’habitations</li> </ul>	

# SOLUTIONS D'APPROVISIONNEMENT ENERGETIQUE PERTINENTES

## 10 LES DIFFERENTS SYSTEMES ADAPTES

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 sont trop faibles et 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. Toutefois, une telle chaufferie doit intégrer une solution de chauffage d'appoint au gaz naturel. D'autre part, cette solution ne permet pas de couvrir les besoins de climatisation. Le site n'est pas desservi par le gaz naturel, cette solution n'est par conséquent pas retenue.
- **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** : sondes verticales couplées 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 à condensation** : le site n'est pas desservi par le gaz naturel, cette solution n'est par conséquent pas retenue.
- **Systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité** : ce type de systèmes concernent les chaudières gaz ou bois qui n'ont pas été retenues.

# 11 SOLUTION 1 : SOLUTION PRESSENTIE

## 11.1 DESCRIPTION

### CHAUFFAGE ET CLIMATISATION : SOLUTIONS AEROTHERMIQUES

Le chauffage et le rafraîchissement de la Messagerie sont réalisés par une pompe à chaleur aérothermique de type rooftop. Le chauffage et le rafraîchissement des Autres bâtiments sont réalisés par une pompe à chaleur aérothermique de type VRV.

### PRODUCTION D'ECS : SOLUTIONS INDIVIDUELLES

La Messagerie ne présente pas de besoins en ECS. Pour les autres bâtiments, les besoins en ECS sont couverts par des ballons électriques individuels.

### PRODUCTION D'ELECTRICITE : PHOTOVOLTAÏQUE

La toiture du bâtiment Messagerie sera équipée d'une installation photovoltaïque de 3000 m<sup>2</sup> pour 500 kWc et une production annuelle de 620 MWh (voir 8.2).

## 11.2 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.

Pour les bâtiments concernés, les seuils maximums sont les suivants :

- Messagerie : 112 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an
- Autres bâtiments : 132 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an

Les hypothèses prise en compte concernant la performance énergétique des équipements sont les suivantes :

- Rooftop Messagerie : COP annuel = 2,9 / EER annuel = 2,9
- VRV Autres bâtiments : COP annuel = 2,2 / EER annuel = 4,0

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

Bâtiment	Chauffage	ECS	Eclairage	Climatisation	TOTAL
Messagerie	16 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	-	20 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	2 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	37 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>
Bureaux	20 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	4 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	16 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	9 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	49 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>
Locaux chauffeurs nord	20 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	11 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	16 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	9 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	56 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>
Locaux chauffeurs sud	20 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	11 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	16 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	9 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>	56 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup>

Bâtiment	Surface RT	Chauffage	ECS	Eclairage	Climatisation	TOTAL
Messagerie	33 510 m <sup>2</sup>	521 MWh <sub>ep</sub>	-	670 MWh <sub>ep</sub>	63 MWh <sub>ep</sub>	1 254 MWh <sub>ep</sub>
Bureaux	2 397 m <sup>2</sup>	48 MWh <sub>ep</sub>	9 MWh <sub>ep</sub>	38 MWh <sub>ep</sub>	22 MWh <sub>ep</sub>	118 MWh <sub>ep</sub>
Locaux chauffeurs nord	115 m <sup>2</sup>	2 MWh <sub>ep</sub>	1 MWh <sub>ep</sub>	2 MWh <sub>ep</sub>	1 MWh <sub>ep</sub>	6 MWh <sub>ep</sub>
Locaux chauffeurs sud	279 m <sup>2</sup>	6 MWh <sub>ep</sub>	3 MWh <sub>ep</sub>	4 MWh <sub>ep</sub>	3 MWh <sub>ep</sub>	16 MWh <sub>ep</sub>
	36 301 m <sup>2</sup>	577 MWh <sub>ep</sub>	13 MWh <sub>ep</sub>	715 MWh <sub>ep</sub>	88 MWh <sub>ep</sub>	1 394 MWh <sub>ep</sub>

Figure 12 : Récapitulatif des consommations finales unitaires et totales pour un système aérothermique en énergie finale<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Les consommations des auxiliaires (ventilation sont intégrées dans le poste chauffage)

Sur l'ensemble des bâtiments, le poste éclairage est le plus consommateur d'énergie. Les consommations de climatisation sont plus faibles, d'une part car les consignes de températures sont limitées à 27°C pour la messagerie, et d'autre part, car les installations sont dimensionnées pour une efficacité optimale en climatisation.

Etant donnée la situation géographique, les bâtiments de bureaux bénéficient d'une consommation d'énergie primaire maximale (CEPmax) autorisée par la RT2012 plus importante dans le cas où ils recourent à la climatisation<sup>4</sup>.

La production d'électricité par l'installation photovoltaïque est estimée à 620 MWh<sub>ef</sub>/an (voir 8.1.2). Par conséquent le bilan de consommation est de 774 MWh<sub>ef</sub>/an.

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.

La consommation totale des postes Chauffage, climatisation, ECS, éclairage et auxiliaires représente ainsi **1997 MWh<sub>ep</sub>/an**.

Ramenée à la surface de plancher totale (soit 38 848 m<sup>2</sup>), cette consommation représente **51,4 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an**.

Cette consommation correspond à une étiquette énergétique de **niveau B**.

### 11.3 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, 0,040 kgCO<sub>2</sub>/kWh<sub>ef</sub> pour la production d'ECS et 0,040 kgCO<sub>2</sub>/kWh<sub>ef</sub> pour la climatisation.

Ainsi, les émissions totales liées aux postes Chauffage, climatisation et ECS représentent **108 tCO<sub>2</sub>/an**.

Ramenée à la surface de plancher totale (soit 38 848 m<sup>2</sup>), ces émissions représentent **2,8 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an**.

Cette consommation correspond à une étiquette climat de **niveau A**.

### 11.4 BILAN ECONOMIQUE

#### INVESTISSEMENT

300 €/kW<sub>chaud</sub> pour un besoin total de 1 200 kW<sub>chaud</sub>  
Soit un investissement total de **360 000 €**.

#### COUT ANNUEL D'EXPLOITATION

Cout de l'énergie : 8 c€/kWh soit 62 000 €/an  
Maintenance annuelle : 1 000 €/an

Soit un cout annuel d'exploitation la première année de : **63 000 €/an**

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

Soit un cout annuel d'exploitation moyen sur 20 ans de : **104 000 €/an**

<sup>4</sup> Ces bâtiments sont de classe CE2, contrairement aux autres qui sont de classe CE1.

## 12 SOLUTION 2 : SOLUTION GEOTHERMIQUE

### 12.1 DESCRIPTION

#### CHAUFFAGE ET CLIMATISATION : SOLUTIONS AEROTHERMIQUES

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

#### PRODUCTION D'ECS : SOLUTIONS INDIVIDUELLES

La messagerie ne présente pas de besoins en ECS. Pour les autres bâtiments, les besoins en ECS sont couverts par des ballons électriques individuels.

#### PRODUCTION D'ELECTRICITE : PHOTOVOLTAÏQUE

La toiture du bâtiment Messagerie sera équipée d'une installation photovoltaïque de 3000 m<sup>2</sup> pour 500 kWc et une production annuelle de 620 MWh (voir 8.2).

### 12.2 CONSOMMATIONS ENERGETIQUES

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

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

Bâtiment	Chauffage	ECS	Eclairage	Climatisation	TOTAL
Messagerie	11 kWh/m <sup>2</sup>	-	20 kWh/m <sup>2</sup>	2 kWh/m <sup>2</sup>	33 kWh/m <sup>2</sup>
Bureaux	11 kWh/m <sup>2</sup>	4 kWh/m <sup>2</sup>	16 kWh/m <sup>2</sup>	12 kWh/m <sup>2</sup>	43 kWh/m <sup>2</sup>
Locaux chauffeurs nord	11 kWh/m <sup>2</sup>	11 kWh/m <sup>2</sup>	16 kWh/m <sup>2</sup>	12 kWh/m <sup>2</sup>	50 kWh/m <sup>2</sup>
Locaux chauffeurs sud	11 kWh/m <sup>2</sup>	11 kWh/m <sup>2</sup>	16 kWh/m <sup>2</sup>	12 kWh/m <sup>2</sup>	50 kWh/m <sup>2</sup>

Bâtiment	Surface RT	Chauffage	ECS	Eclairage	Climatisation	TOTAL
Messagerie	33 510 m <sup>2</sup>	378 MWh	-	670 MWh	60 MWh	1 108 MWh
Bureaux	2 397 m <sup>2</sup>	26 MWh	9 MWh	38 MWh	30 MWh	103 MWh
Locaux chauffeurs nord	115 m <sup>2</sup>	1 MWh	1 MWh	2 MWh	1 MWh	6 MWh
Locaux chauffeurs sud	279 m <sup>2</sup>	3 MWh	3 MWh	4 MWh	3 MWh	14 MWh
	36 301 m <sup>2</sup>	409 MWh	13 MWh	715 MWh	95 MWh	1 232 MWh

Figure 13 : Récapitulatif des consommations finales unitaires et totales pour un système aérothermique en énergie finale<sup>5</sup>

Sur l'ensemble des bâtiments, le poste éclairage est le plus consommateur d'énergie. Les consommations de climatisation sont plus faibles, d'une part car les consignes de températures sont limitées à 27°C pour la messagerie.

Etant donnée la situation géographique, les bâtiments de bureaux bénéficient d'une consommation d'énergie primaire maximale (CEPmax) autorisée par la RT2012 plus importante dans le cas où ils recourent à la climatisation<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Les consommations des auxiliaires (ventilation sont intégrées dans le poste chauffage)

<sup>6</sup> Ces bâtiments sont de classe CE2, contrairement aux autres qui sont de classe CE1.

La production d'électricité par l'installation photovoltaïque est estimée à 620 MWh<sub>ef</sub>/an (voir 8.1.2). Parc conséquent le bilan de consommation est de 612 MWh<sub>ef</sub>/an.

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.

La consommation totale des postes Chauffage, climatisation, ECS, éclairage et auxiliaires représente ainsi **1579 MWh<sub>ep</sub>/an**.

Ramenée à la surface de plancher totale (soit 38 848 m<sup>2</sup>), cette consommation représente **40,6 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an**.

Cette consommation correspond à une étiquette énergétique de **niveau A**.

## 12.3 ÉMISSIONS 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, 0,040 kgCO<sub>2</sub>/kWh<sub>ef</sub> pour la production d'ECS et 0,040 kgCO<sub>2</sub>/kWh<sub>ef</sub> pour la climatisation.

Ainsi, les émissions totales liées aux postes Chauffage, climatisation et ECS représentent **78 tCO<sub>2</sub>/an**.

Ramenée à la surface de plancher totale (soit 38 848 m<sup>2</sup>), ces émissions représentent **2,0 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an**.

Cette consommation correspond à une étiquette climat de **niveau A**.

## 12.4 BILAN ECONOMIQUE

### INVESTISSEMENT

400 €/kW<sub>chaud</sub> pour un besoin total de 1 200 kW<sub>chaud</sub>

70 €/ml de sondes géothermiques pour un besoin total de 18 000 ml soit 1 260 000 €

Soit un investissement total de **1 740 000 €**.

**Surcout d'investissement : 1 380 000 €**

### COUT ANNUEL D'EXPLOITATION

Cout de l'énergie : 8 c€/kWh soit 49 000 €/an

Maintenance annuelle : 2 000 €/an

Soit un cout annuel d'exploitation la première année de : **51 000 €/an**

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

Soit un cout annuel d'exploitation moyen sur 20 ans de : **83 000 €/an**

**Economie annuelle moyenne sur 20 ans : 21 000 €/an**

**Temps de retour sur investissement : 39 ans**

## 13 SOLUTION RETENUE

La solution 1 aérothermique 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 valorisant une ressource renouvelable et en étant simple dans sa mise en œuvre.

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 : approvisionnement en gaz naturel, production de chaleur sans climatisation, consommation d'ECS faibles.

# ANNEXES

## A. 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

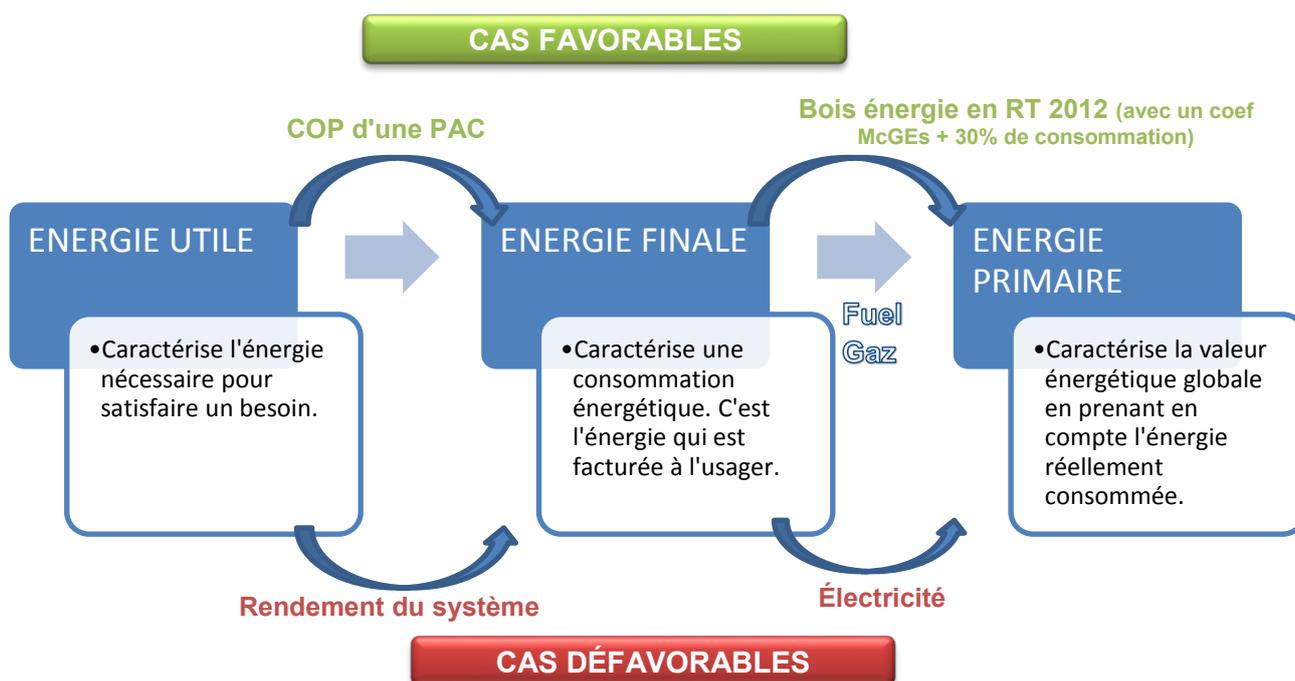
### CONVERSION ENERGIE FINALE/ENERGIE PRIMAIRE :

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 m<sup>2</sup>. 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.

## B. 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.

Une présentation de la RT 2012 est consultable en annexe C.

### 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.

	Bbiomax	Cep <sub>max</sub>
Bureaux	140 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an	132 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an
Messagerie	90 kWh <sub>eu</sub> /m <sup>2</sup> SHONRT.an	112 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>7</sup> mais ont été travaillées pour correspondre à la consommation du parc RT 2005 sur la zone géographique et à l'altitude du projet. Elles sont exprimées en énergie utile, ce qui permet de partir sur des bases affranchies des systèmes de production.

<sup>7</sup> Centre d'Études et de Recherches Économiques sur l'Énergie

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

→ Bbiomax = 72 kWhe/(m<sup>2</sup>.an)  
→ η<sub>eq</sub> = Eu/Ef

→ Cepmax = 70 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)  
→ Vecteur énergétique considéré = Ef/Ep

**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).

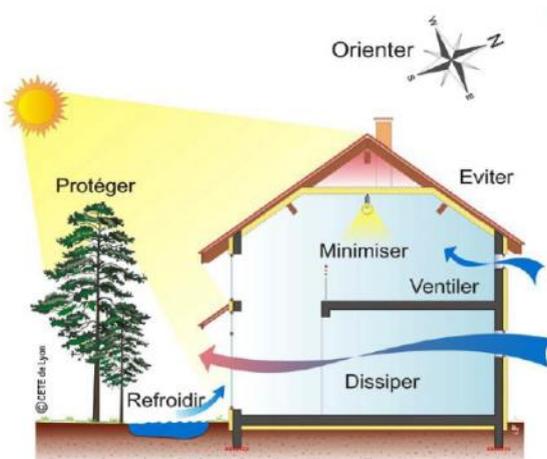
Les hypothèses prises sont tirées de la littérature – CSTB, ADEME, Effinergie, Enertech – et des retours d'expérience de bâtiments neufs ou rénovés.

- 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 réfléchi 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.

## C. PRESENTATION DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE 2012

### 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).

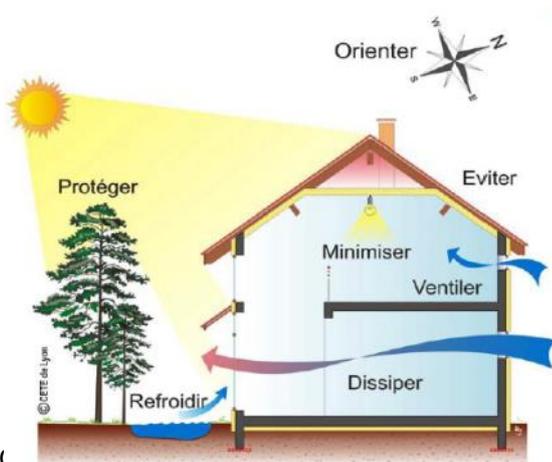
### LES EXIGENCES DE RESULTATS

#### a) 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.

#### b) 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).

### c) 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.

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

d) 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 :

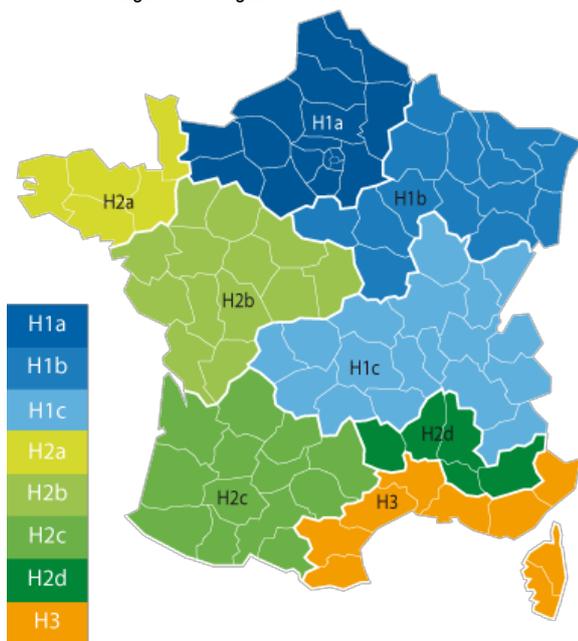
- Locaux situés dans un bâtiment de bureaux dont les baies ne sont pas ouvrables en application d'autres réglementations : par exemple, immeuble de grande hauteur ;
- Locaux situés dans un bâtiment de bureaux exposé au bruit ;
- Locaux situés dans un bâtiment d'enseignement en zone méditerranéenne et 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<sub>ctype</sub>*

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<sub>bgéo</sub> et M<sub>cgeo</sub>*



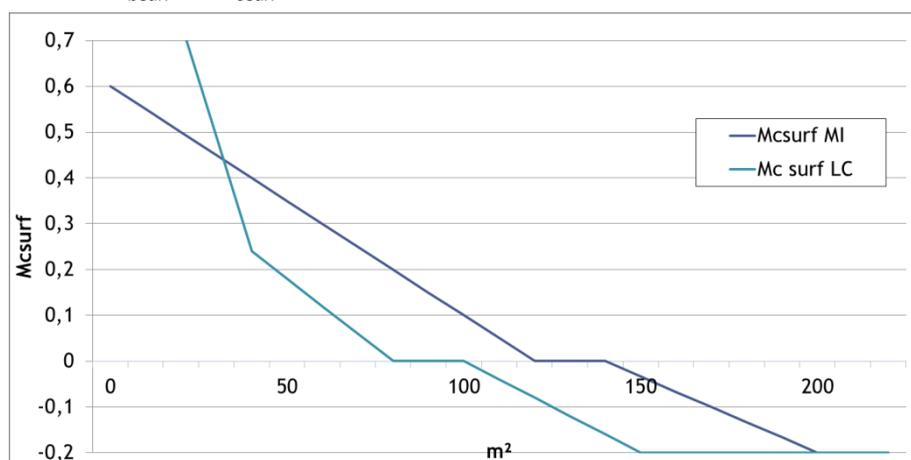
Ces coefficients tiennent compte de l’influence de la position géographique sur la consommation énergétique d’un bâtiment. Un bâtiment au nord de la France sera donc autorisé à consommer plus qu’un bâtiment similaire au sud.

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

*M<sub>balt</sub> et M<sub>calt</sub>*

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 m<sup>2</sup> 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 :

	$M_{CGES}$			
	≤ 50 g/kWh	50 à 100 g/kWh	100 à 150 g/kWh	≥ 150 g/kWh
Maison alimentée par du bois énergie	0,3			
École alimentée par du bois énergie	0,1			
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 alimentée 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 m<sup>2</sup> ;
- 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 kWhep/(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%.

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

Raison sociale	Contact	Adresse	Coordonnées			Type de combustibles	Origine des produits	Autre(s) service(s)
			Tél.	Fax.	E-mail			
SARL ENVIRONNEMENT BOIS ENERGIE	M. Yann PHILIP	212 chemins des basses prairies 30100 ALES	04 66 52 70 39 06 22 87 80 52	04 66 52 70 39	<a href="mailto:environnementboisenergie@orange.fr">environnementboisenergie@orange.fr</a>	Plaquettes sèches et humides, granulés en sacs	Forêt	Prestation de broyage
BOIS ENERGIE CEVENNES LANGUEDOC	M. Fabrice AUTRAND	3 rue Lajudie 30100 ALES	04 67 55 58 70 06 24 94 07 86	04 66 30 01 42	<a href="mailto:contact@boisenergie-cl.com">contact@boisenergie-cl.com</a>	Plaquettes sèches et humides, broyat, copeaux et sciures	Forêt, scierie et bois de rebut	Prestation de broyage Camion souffleur de plaquettes
ETS POLOP	M. Gérard POLOP et Mme Florence KUENEMANN	16 avenue de la grave 30120 LE VIGAN	04 67 81 02 44 06 71 40 81 98	04 67 81 72 17	<a href="mailto:info@info@polop.fr.fr">info@info@polop.fr.fr</a>	Granulés en sac et en vrac	Usine de granulation	-
SCIERIE UFV - SUP'CEVEN ENERGIE	M. Christophe GLEIZE	La plaine 30120 MOLIERES-CAVAILLAC	04 67 81 04 56 06 89 77 63 51	04 67 81 00 00	<a href="mailto:contact.ufv@wanadoo.fr">contact.ufv@wanadoo.fr</a>	Plaquettes sèches, plaquettes humides, copeaux, sciures et écorces	Forêt et scierie	-
GEDIMAT MANEN	M. Frédéric MANEN	Route de Florac 30270 ST JEAN DU GARD	04 66 85 30 33	04 66 85 18 13	<a href="mailto:frederic.manen@manen.fr">frederic.manen@manen.fr</a>	Granulés en sac et en vrac	Usine de granulation	-
SARL PUECH BOIS ENERGIE	M. Eric PUECH	Route de Ganges 30440 SUMENE	04 67 81 32 45 06 82 70 03 74	04 67 81 32 45	<a href="mailto:bois.puech@wanadoo.fr">bois.puech@wanadoo.fr</a>	Granulés en sac et en vrac	Usine de granulation	-
SARL Les Jeunes Pousses	MM. MABIRE et CHARMASSON	Village 30430 THARAUX	06 89 65 10 63 06 18 05 01 95	-	<a href="mailto:info@lesjeunespousses.net">info@lesjeunespousses.net</a>	Plaquettes sèches	Forêt	Prestation de broyage Location de déchiqueteuse
SARL ETS CEBELIEU	M. Jean-Claude CEBELIEU	1 avenue de la Libération 30450 GENOLHAC	04 66 61 11 71	04 66 61 27 17	<a href="mailto:etscebelieu@orange.fr">etscebelieu@orange.fr</a>	Granulés en sac et en vrac	Usine de granulation	-
SARL Sonzogni Environnement	M. Pascal SONZOGNI	Le Clos de Potelières 30500 POTELIERES	06 08 36 39 81	-	-	Plaquettes sèches et humides, granulés en sac et en vrac	Forêt, usine de granulation	-
ETS DARDALHON SARL	M. Alain DARDALHON	La Rouvière 30530 PORTES	04 66 34 06 02 06 30 57 56 59	04 66 54 85 09	<a href="mailto:sarldardalhon@hotmail.fr">sarldardalhon@hotmail.fr</a>	Plaquettes sèches, copeaux et sciures	Scierie	-