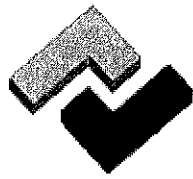
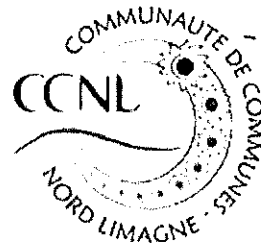


- 5 JUL. 2017

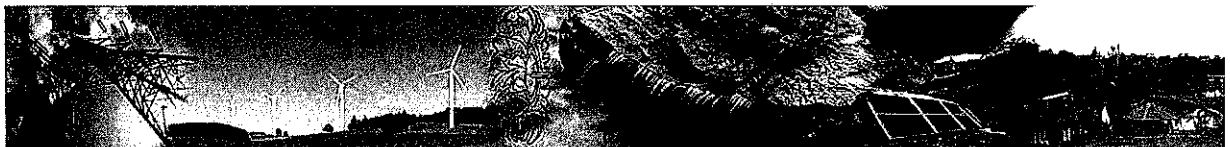


SEAU
Société d'Équipement
de l'Auvergne



**ÉTUDES PRÉALABLES À LA CRÉATION
DE LA ZAC A VOCATION ECONOMIQUE
DE JULLIAT À AIGUEPERSE**

**POTENTIALITES EN ENERGIES RENOUVELABLES
OPPORTUNITE DE RESEAUX DE CHALEUR ET DE FROID
PRESENTATION DES SYSTEMES MOBILISABLES**



SEPTEMBRE 2014

AXENNE



MAITRE D'OUVRAGE **SOCIETE D'EQUIPEMENT DE
L'Auvergne (SEAU)**
Agence de l'Allier
42, rue de la République
03000 AVERMES
Tél: 04 70 44 56 01



SEAU
Société d'Équipement
de l'Auvergne

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



SOMMAIRE

<u>GISEMENT DISPONIBLE EN ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION</u>		5
1	PRESENTATION DU SITE	5
1.1	LOCALISATION	5
1.2	ACCESSIBILITE	5
1.3	TOPOGRAPHIE	6
1.4	OCCUPATION DU SOL	6
2	FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE THERMIQUE	7
2.1	ÉNERGIE SOLAIRE	7
2.2	BIOMASSE COMBUSTIBLE	10
2.3	GEO THERMIE	14
2.4	HYDROTHERMIE	18
2.5	AEROTHERMIE	19
2.6	RECUPERATION DE CHALEUR SUR EAUX USEES	20
2.7	CHALEUR FATALE	26
2.8	RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT	26
3	FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE	27
3.1	ÉNERGIE SOLAIRE	27
3.2	ÉNERGIE EOLIENNE	28
3.3	POTENTIEL	30
4	FILIERE DE PRODUCTION DE BIOGAZ	31
4.1	BIOMASSE METHANISABLE	31
4.2	CONTRAINTE S	32
4.3	POTENTIEL	32
5	RECAPITULATIF DES POTENTIALITES DU TERRITOIRE	33
<u>OPPORTUNITÉ DE RÉSEAUX DE CHALEUR OU DE FROID</u>		34
1	PROGRAMMATION	34
2	PHASAGE	35
3	BATIMENTS EXISTANTS A PROXIMITE	35
4	BESOINS ENERGETIQUES	36
5	DENSITE ENERGETIQUE	37
<u>ENERGIES RENOUVELABLES ET SYSTEMES ADAPTES A L'OPERATION</u>		39
1	LES SOLUTIONS THERMIQUES	41
1.1	LES BATIMENTS DE BUREAUX OU DE COMMERCE	41
1.2	LES ATELIERS ET ENTREPOTS	52

2	LES SOLUTIONS ELECTRIQUES	55
ANNEXES		61
A.	Liste des fournisseurs locaux de bois energie	61
B.	Methodologie pour evaluer la pertinence d'un reseau de chaleur	62
C.	Definition des energies dites utiles, finales, primaires	63
D.	Methodologie pour l'estimation des besoins energetiques	65
E.	presentation de la reglementation thermique 2012	70

GISEMENT DISPONIBLE EN ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION

1 PRESENTATION DU SITE

1.1 LOCALISATION

Le projet de ZAC de Julliat se situe sur la commune d'Aigueperse au sud du centre-ville. Il forme un triangle circonscrit par trois routes départementales : la D2009 au sud, la D2019 ou route de Riom à l'ouest et la D51 à l'est.



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

1.2 ACCESSIBILITE

La ZAC est à environ 1 km du centre-ville d'Aigueperse. Elle sera accessible par la route via les trois axes routiers mentionnés précédemment.

1.3 TOPOGRAPHIE

L'altitude de la ZAC varie entre 350 et 360 m ; le terrain est globalement plat.

1.4 OCCUPATION DU SOL

Le périmètre du projet englobe des zones agricoles, il est circonscrit par des axes routiers sur une zone d'environ 14 ha.

Aux abords immédiats du site on trouve principalement des espaces agricoles ainsi qu'une zone d'activité économique à l'ouest et des bâtiments à usage agricole au nord.

2 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE THERMIQUE

2.1 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.

2.1.1 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 valeurs d'ensoleillement sont issues de la base de données Helioclim-1, calculées à partir des images du satellite Meteosat, de 1985 à 2005. La grille a une résolution de 20 km. Ces données ont permis à AXENNE de dresser la cartographie du gisement solaire sur l'ensemble du territoire. Les données de température présentées sont celles de la ville de Riom ; elles sont issues du logiciel Météonorm et correspondent aux normales pour la période 1961-1990.

Base météo de référence : Riom				
Altitude : 372 m				
Latitude : 45,88 °				
Longitude : 3,02 °				
MOIS	Ensoleillement à l'horizontale (en Wh/m ² .j)	Température mini	Température moyenne	Température maxi
Janv	1 197	-0,6	3,0	7,0
Févr	1 862	0,3	4,4	8,9
Mars	3 278	2,5	7,1	12,2
Avr	4 495	4,6	9,9	14,9
Mai	4 912	8,5	13,8	19,0
Juin	5 874	11,4	17,1	21,9
Juill	6 207	13,4	19,0	24,3
Août	5 281	13,4	18,7	24,1
Sept	3 926	10,9	16,3	21,5
Oct	2 333	7,3	11,6	16,5
Nov	1 433	3,2	6,9	10,8
Déc	934	1,1	4,4	8,4
Total annuel : 1272 kWh/m ² .an				
Sources : ensoleillement - Helioclim1 / températures - Météonorm				

Figure 2 : Données mensuelles d'ensoleillement et de température

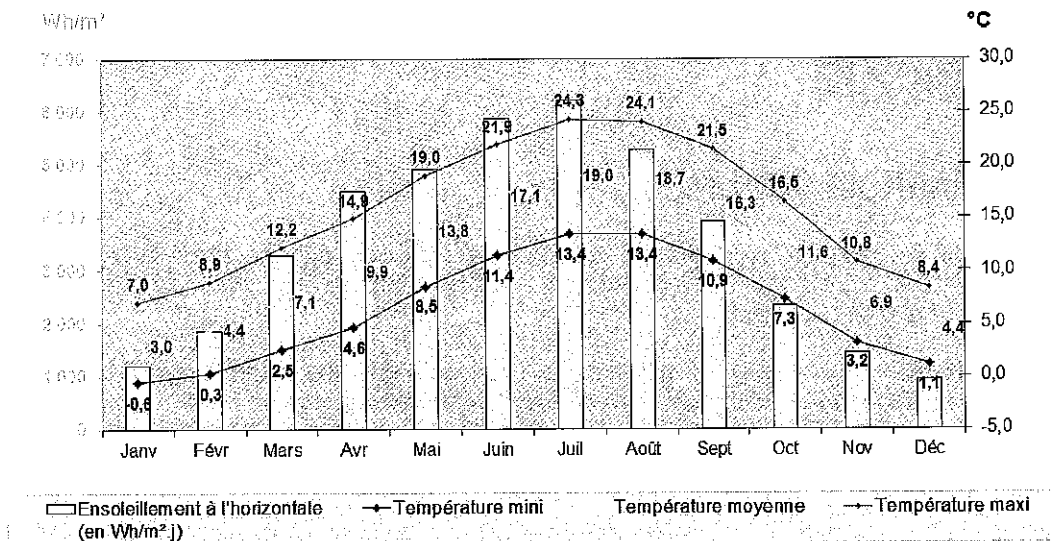


Figure 3 : Courbes mensuelles d'ensoleillement et de température à Riom

CARTOGRAPHIE DE L'ENSOLEILLEMENT

La carte suivante met en évidence l'ensoleillement annuel moyen sur le territoire.

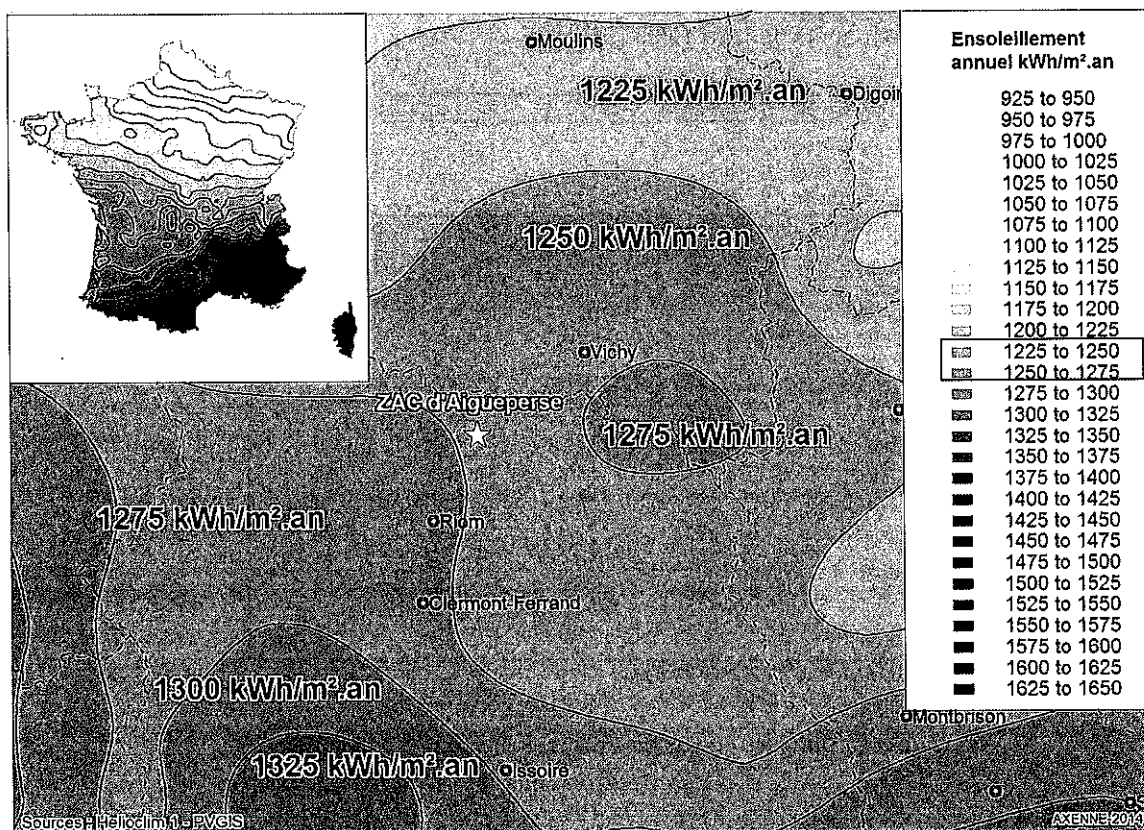


Figure 4 : Ensoleillement moyen annuel sur le territoire

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

La zone d'étude bénéficie d'un ensoleillement annuel dans la moyenne nationale.

2.1.2 PRODUCTIBLE

Le productible d'une installation solaire thermique est illustré dans le cadre d'une installation collective sur un immeuble de 15 logements.

Caractéristiques de l'installation (simulation SOLO) :

- Consommation de 1 585 L/jour.
- Ballon de stockage de 1 500 L,
- 40 m² de capteurs,
- Orientation Sud et inclinaison à 45°,

Ces besoins correspondent à un immeuble de 15 logements, avec en moyenne 2,35 habitants par logement¹, soit aux besoins en eau chaude sanitaire de 35 personnes.

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, l'installation produira 16 200 kWh/an soit 55 % des besoins en eau chaude sanitaire de l'immeuble considéré. La productivité des capteurs est de 404 kWh/m².

2.1.3 CONTRAINTES

2.1.3.1 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 LA ZAC

L'emprise de la ZAC est située hors de toutes zones de protection du patrimoine (sites inscrits, sites classés, secteur sauvegardé, ZPPAUP). Les monuments historiques présents autour de la ZAC sont situés à plus de 500 m (voir figure Figure 5).

¹ Recensement de la population INSEE 2009

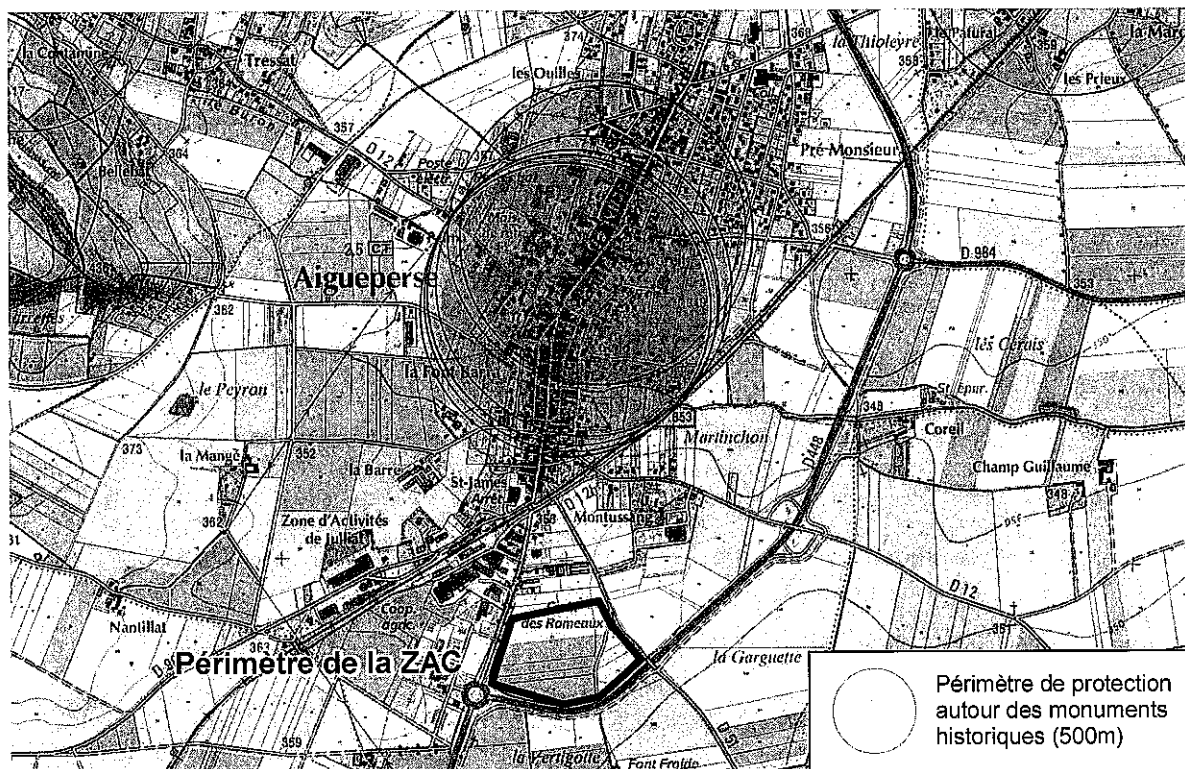


Figure 5 : Patrimoine historique aux abords de la ZAC, source : Atlas des patrimoines, Ministère de la Culture et de la Communication

2.1.3.2 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.

2.1.4 POTENTIEL

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

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

2.2 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.

2.2.1 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.

La carte ci-dessous permet de localiser les régions forestières situées dans un rayon de 30 et 50 km autour du site, et de visualiser les caractéristiques de la forêt sur cette même zone.

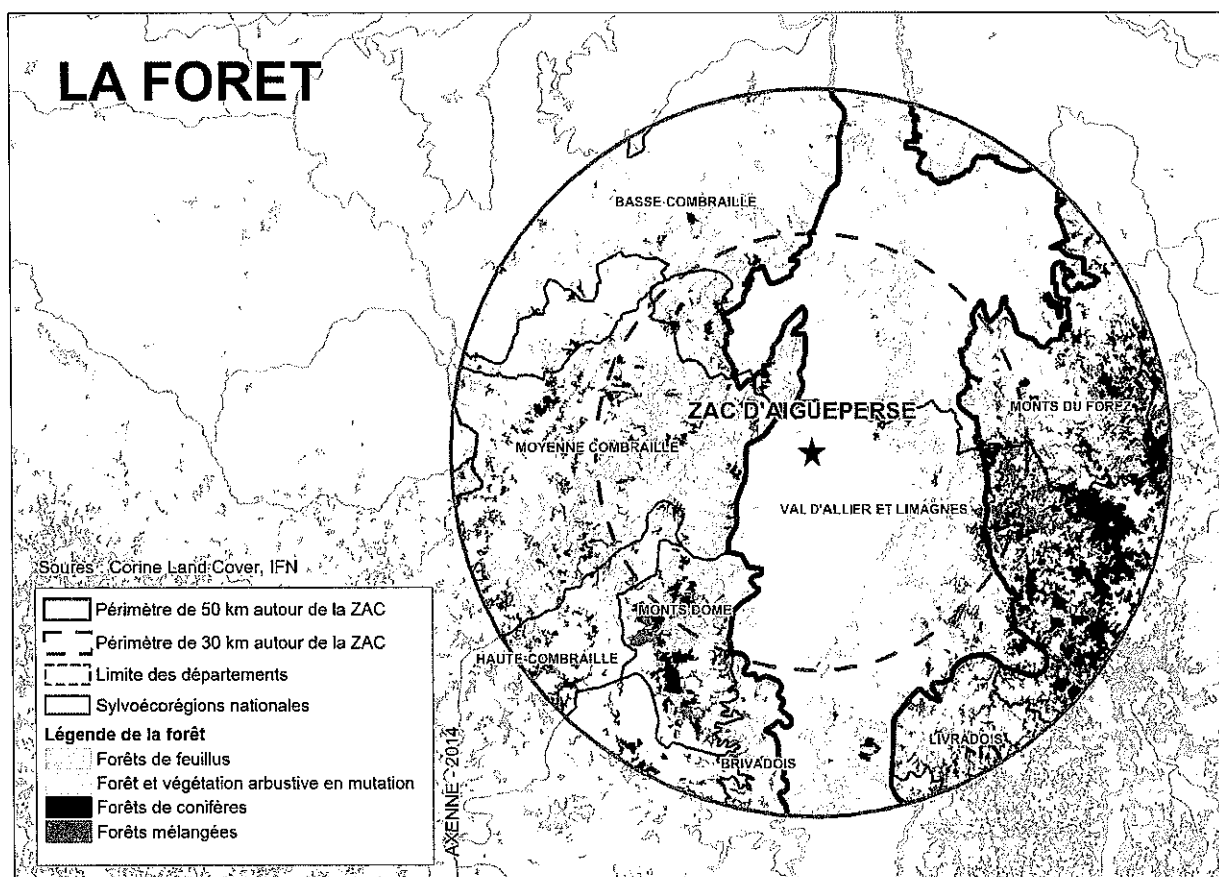


Figure 6 : La forêt et les régions forestières autour de la ZAC (carte : AXENNE)

La ville d'Aigueperse – et donc la ZAC – se trouve sur la région forestière nationale « Val d'allier et Limagne » et la région forestière départementale « Limagne » ; c'est une région forestière faiblement boisée (12 %). Les essences principales sont les chênes avec une faible proportion de conifères. On trouve un boisement plus important dans les régions forestières présentes dans un rayon de 50 km autour de la ZAC en particulier dans les « Monts du Forez ».

La forêt du Puy-de-Dôme représente environ 250 000 ha soit 31 % de la surface totale du département. Cette forêt est composée à 55% de peuplements résineux et à 45% de peuplements feuillus.

La partie Est du département est la plus boisée avec des taux de boisement supérieurs à 70% sur certaines communes.

« Avec un taux de boisement de 31 % et un accroissement biologique annuel estimé à 1 800 000 m³ de bois dont seulement 65 % sont prélevés, le département du Puy-de-Dôme dispose d'une importante ressource en bois.

Le potentiel disponible pour la filière bois-énergie dépend fortement des conditions d'accès à cette ressource et du développement de la production de bois d'œuvre.

En complément des sous-produits issus de l'exploitation forestière, les produits connexes de scierie (plaquettes et écorces) et les bois de rebut non traités constituent une ressource disponible estimée à 330 000 t pour la filière bois-énergie, sans déstabiliser les autres filières de valorisation en bois d'industrie. »²

Le bilan des ressources en bois disponibles sur le Puy-de-Dôme à valoriser dans la filière bois-énergie est présenté ci-dessous.

Quantités disponibles en tonnes par an

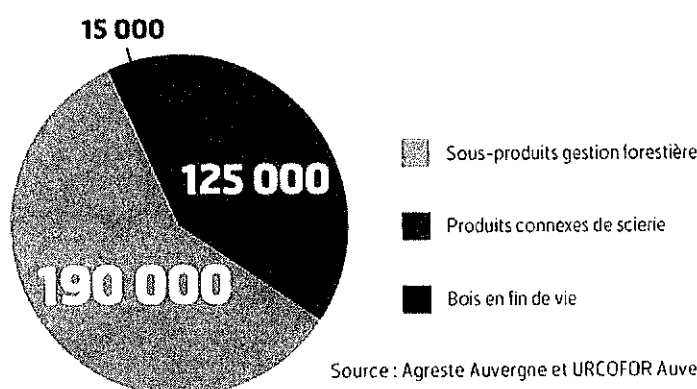


Figure 7 : Gisement net en bois énergie sur le département du Puy-de-Dôme, Source : Aduhme, 2012

Le territoire qui s'étend dans un rayon de 50 km autour de la ZAC recouvre principalement le département du Puy-de-Dôme et une partie de l'Allier, moins boisée. Le gisement net mobilisable est important sur le département, 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, etc.).

Si l'offre en bois énergie est importante en Auvergne, la demande l'est également. Il existe de nombreuses chaufferies en activité et en projet sur le département et dans la région qui mobilisent une part importante du combustible. Toutefois, l'offre en combustible est amenée à se développer pour le développement de nouveaux projets, la filière est dynamique et l'approvisionnement d'un éventuel réseau de chaleur au bois sur la ZAC ou de chaufferies collectives sur les bâtiments ne poserait pas de problèmes particuliers.

2.2.2 FOURNISSEURS LOCAUX

Une liste non exhaustive de ces entreprises est fournie par ADUHME (Association pour un développement urbain harmonieux par la maîtrise de l'énergie) et disponible en annexe A. En 2014, on recense 23 structures d'approvisionnement sur le département. La carte ci-dessous présente l'emplacement de chacun d'eux.

² Association pour un développement urbain harmonieux par la maîtrise de l'énergie, La filière bois énergie dans le Puy-de-Dôme, 2012

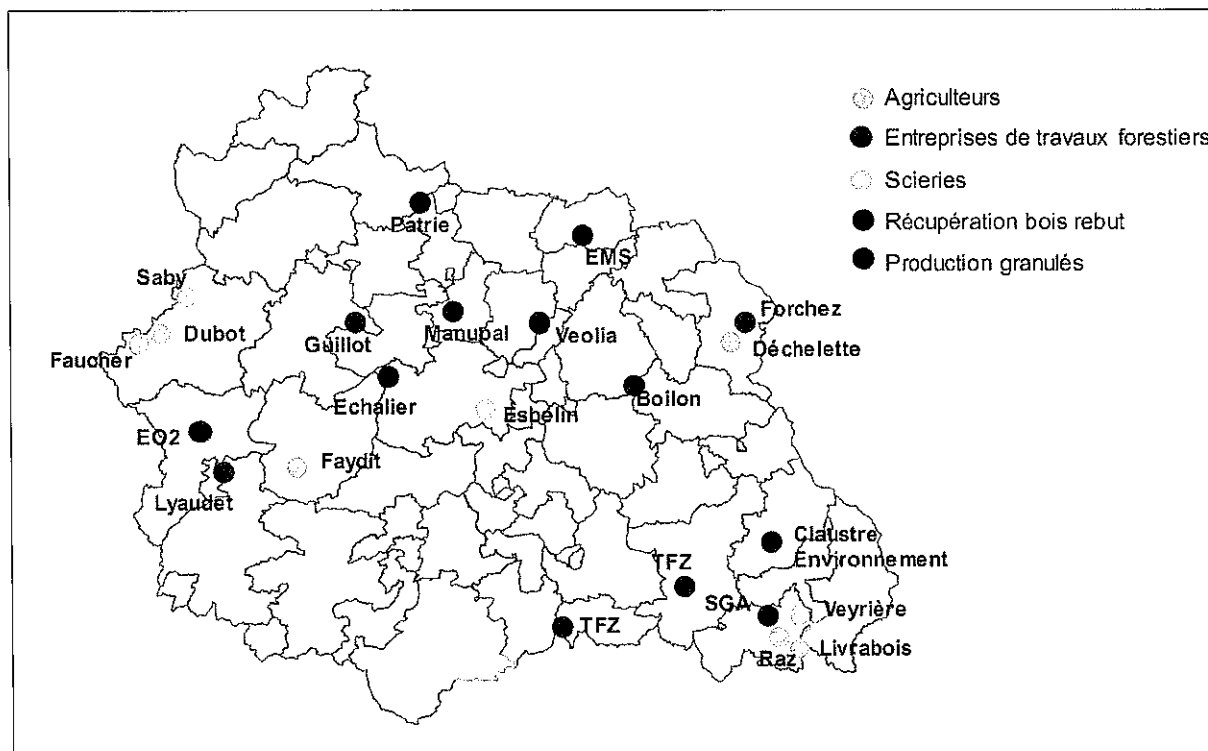


Figure 8 : carte des fournisseurs de bois énergie du département, source : Aduhme - Journée technique PNRVA - Condat 19 juin 2014

2.2.3 CONTRAINTES

ACCESSIBILITE POUR LA LIVRAISON

La livraison du combustible peut être réalisée via les routes D51 ou D448.

RESERVE FONCIERE

Le bois énergie peut être utilisé pour approvisionner des bâtiments de manière individuelle ou mutualisée (réseau de chaleur).

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

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

NUISANCES

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

2.2.4 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.

2.3 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).

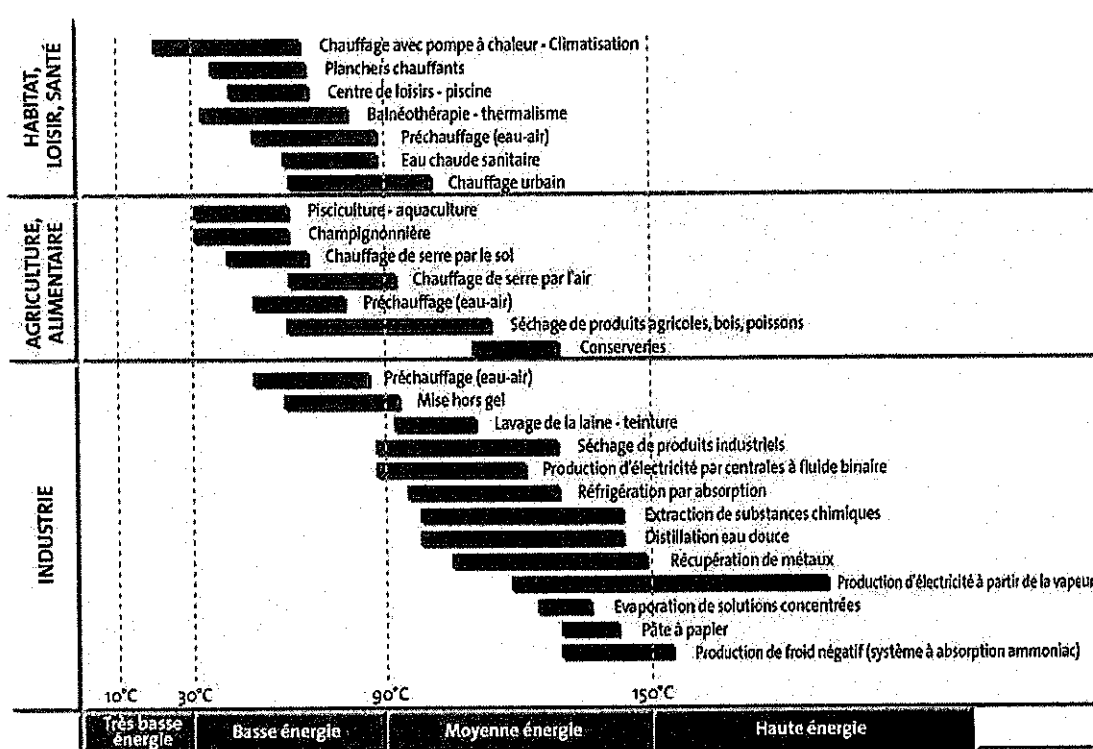


Figure 9 : Principales utilisations de la géothermie en fonction des températures (Source : Géothermie Perspectives)

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 géothermies³.

2.3.1 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 :

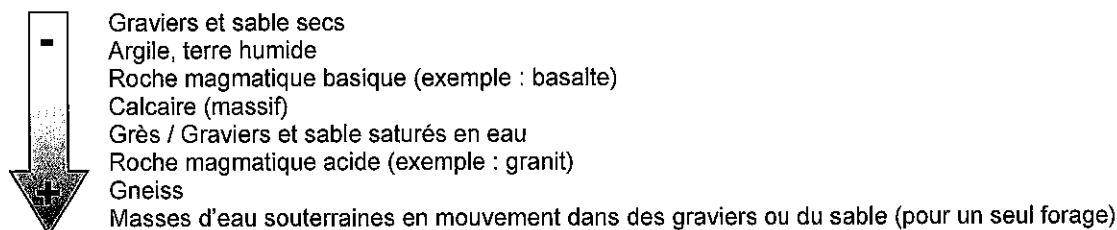
- **capteurs horizontaux** : ils permettent une installation à moindre coût, mais ils nécessitent une grande surface de pose (1,5 à 2 fois la surface à chauffer). Il s'agit de tubes de polyéthylène ou de cuivre gainés de polyéthylène qui sont installés en boucles enterrées horizontalement à faible profondeur (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 80 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).

D'une manière générale, les capteurs verticaux (et les forages sur nappe) sont plus délicats à mettre en place. Il est nécessaire de faire appel à une entreprise de forage qualifiée et de respecter les procédures administratives concernant la protection du sous-sol.

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

POMPES A CHALEUR SUR CAPTEURS VERTICAUX

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



Les éléments issus de la Base de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM indiquent quelques forages existant autour de la zone (voir Figure 10). La plupart des sondages sont peu profonds, mis à part un forage à l'est qui descend à 965 m de profondeur. Ce sondage nous apprend que le sous-sol du site est composé principalement de marnes alternant avec des calcaires jusqu'à une profondeur d'environ 180 m.

La composition du sous-sol jusqu'à 180 mètres permet ainsi a priori des performances moyennes en géothermie sur sondes aux abords de la ZAC. La composition sur le site n'est pas connue de manière précise.

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 composition et la capacité thermique du terrain.

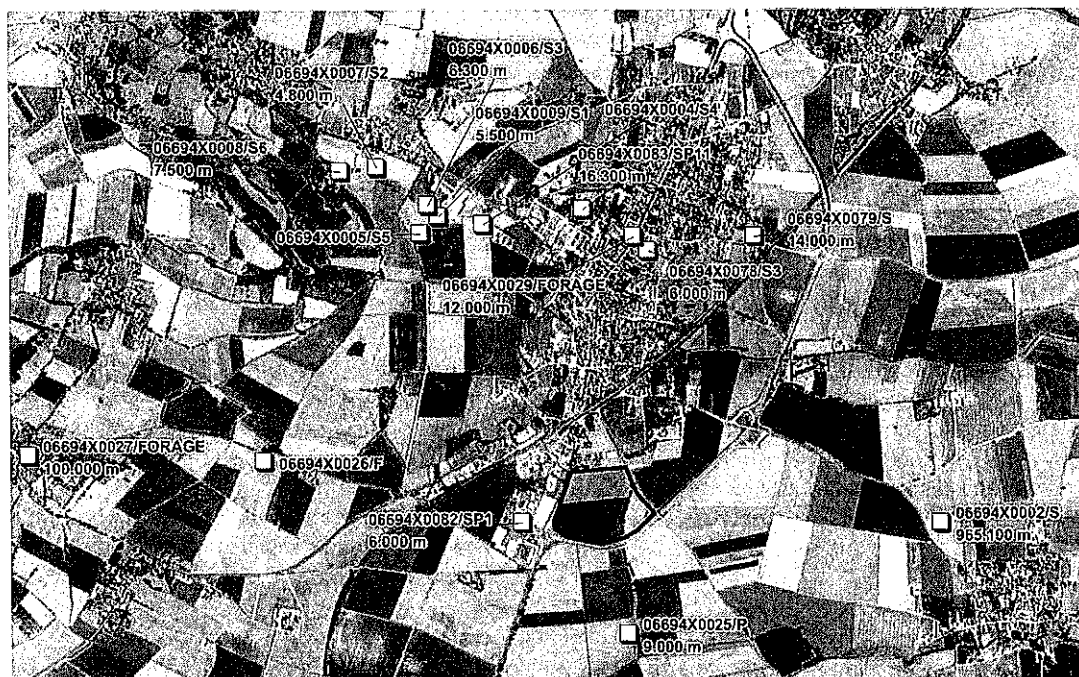


Figure 10 : Localisation des ouvrages géologiques à proximité de la ZAC et leur profondeur (source : Infoterre)

2.3.2 CONTRAINTES DU SITE

L'aléa sismique de la zone est modéré⁴. La ZAC est située sur un terrain ne présentant pas de cavités souterraines⁵ et sur lequel aucun mouvement de terrain (glissement, chute, éboulement, effondrement, coulée, érosion)⁶ n'est référencé. Le site ne présente pas non plus de risque d'inondation.

⁴ La sismicité est importante dans le département du Puy-de-Dôme qui est sans conteste le département le plus sismique de la région Auvergne (26 séismes d'intensité supérieure à 4 sur l'échelle de Medvedev-Sponheuer-Karnik,

L'aléa de retrait ou gonflement des argiles⁷ est fort sur la zone. Dans ce contexte, il sera nécessaire d'adopter des dispositions constructives particulières pour les bâtiments et notamment de réaliser des fondations plus profondes. Cette situation peut présenter une opportunité pour réaliser des pieux géothermiques intégrés aux fondations des bâtiments mais peut également constituer un risque de déformation de ces ouvrages.

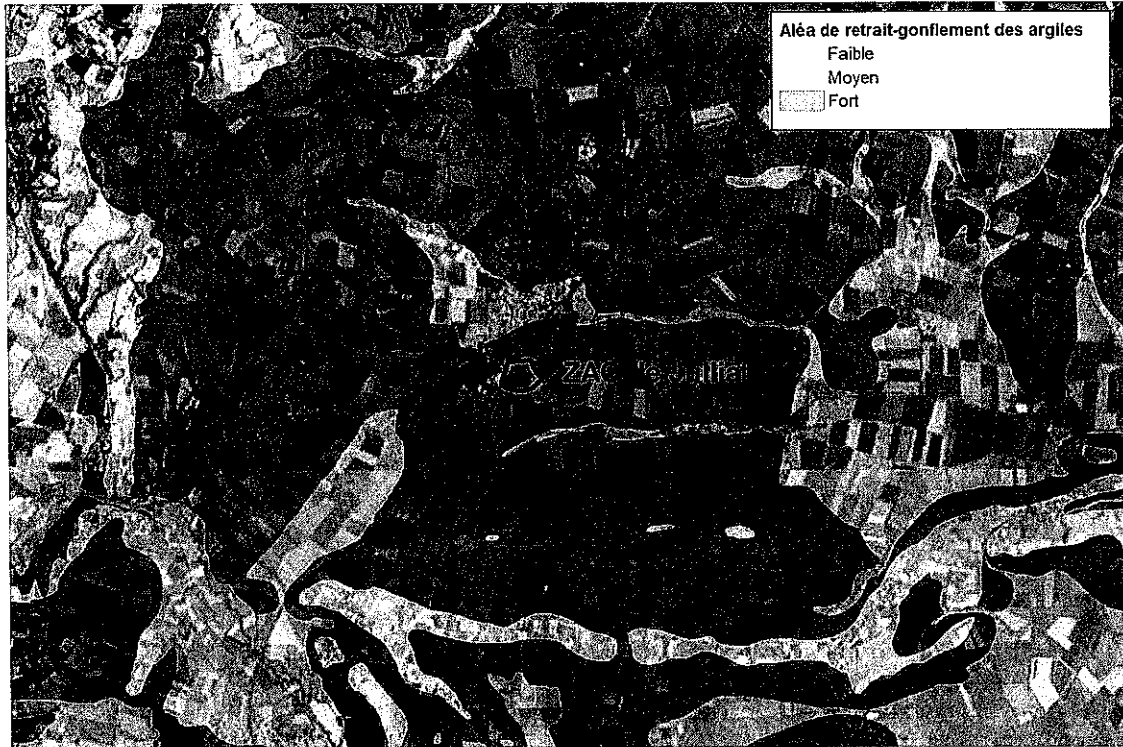


Figure 11 : Carte de l'aléa retrait/gonflement des argiles aux alentours de la ZAC, source : BRGM

2.3.3 POTENTIEL

La géothermie très basse énergie sur capteurs verticaux ou pieux géothermiques présente un potentiel intéressant a priori ; 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.

dont l'épicentre est situé dans le Puy-de-Dôme, ont été recensés entre 1450 et 2003). Source : <http://risques.auvergne.pref.gouv.fr>

⁵ Source : BRGM. www.cavites.fr

⁶ Source : BRGM. www.mouvementsdeterrain.fr

⁷ Source : BRGM. www.argiles.fr

2.4 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).

2.4.1 NAPPES SUPERFICIELLES

Le forage situé à proximité de la zone d'étude indique la présence de la nappe des Sables, argiles et calcaires du Tertiaire de la Plaine de la Limagne à environ 5 m de profondeur sous le site. Les débits mobilisables ne sont pas connus de même que la température de l'eau. Les investigations de sol préliminaires réalisées sur la ZAC n'ont pas permis de mettre en évidence la présence de la nappe, ceux-ci ayant été réalisés à une profondeur maximale de 3,8 m.

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.

2.4.2 CONTRAINTES

- Le secteur d'étude dépend du **Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux** (SDAGE) du bassin Loire Bretagne, entré en vigueur en 2009 pour la période 2010-2015. Il est également inclus dans le périmètre du **Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux** (SAGE) Allier Aval approuvé le 19 février 2014. Il ne mentionne pas la valorisation des ressources géothermiques.
- 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 le risque d'inondation.

2.4.3 POTENTIEL

Le potentiel de la nappe superficielle des Sables, argiles et calcaires du Tertiaire de la Plaine de la Limagne pour une utilisation hydrothermique n'est pas connu. Des études hydrogéologiques complémentaires sont nécessaires pour étudier le recours possible à la nappe à des fins hydrothermiques.

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 115 000 euros par sinistre.

2.5 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).

2.5.1 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.

Aigueperse n'est pas située au bord de la mer mais présente des hivers relativement rigoureux ; de ce fait, il est préférable de ne pas envisager ce type d'installation, 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.

2.6 RECUPERATION DE CHALEUR SUR EAUX USEES

2.6.1 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.

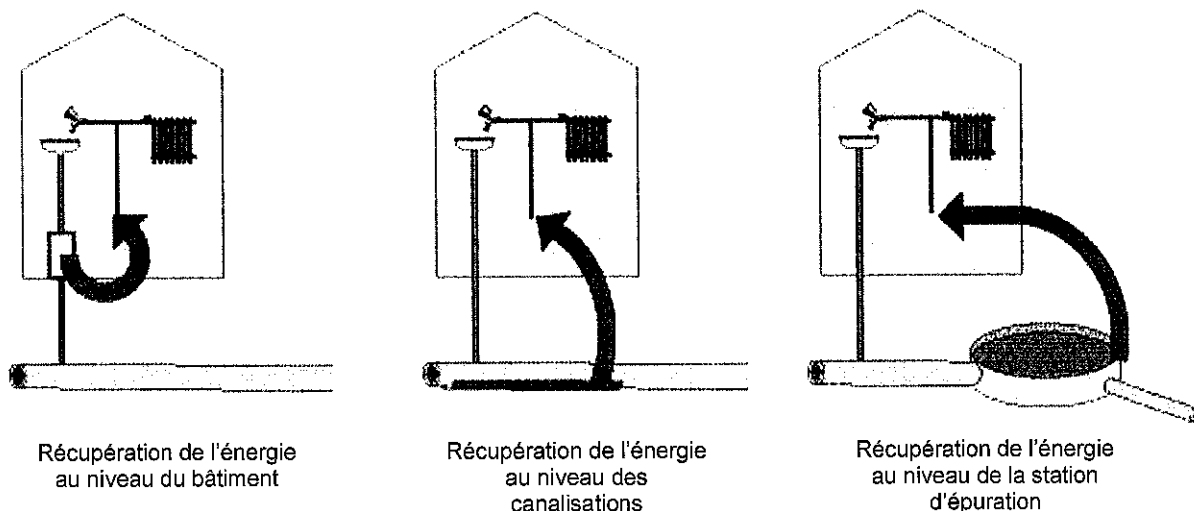


Figure 12 : Récupération de l'énergie des eaux usées (Source : Gestion et services publics, Suisse)

2.6.1.1 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.

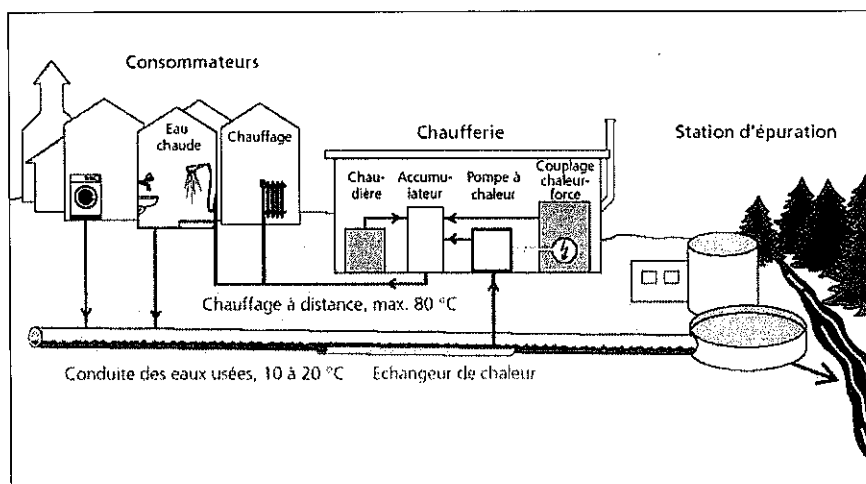
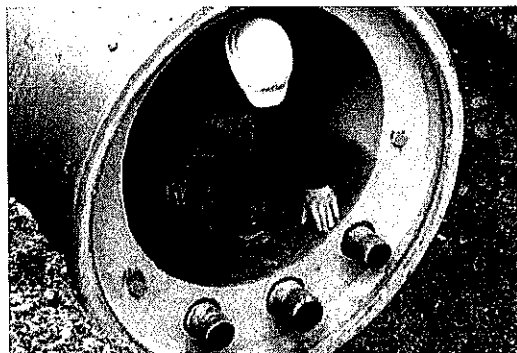


Figure 13 : Principe de fonctionnement de la récupération de chaleur des eaux usées sur les canalisations
(Source : Susanne Staubli)



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 14 : Canalisation préfabriquée avec échangeur de chaleur intégré

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

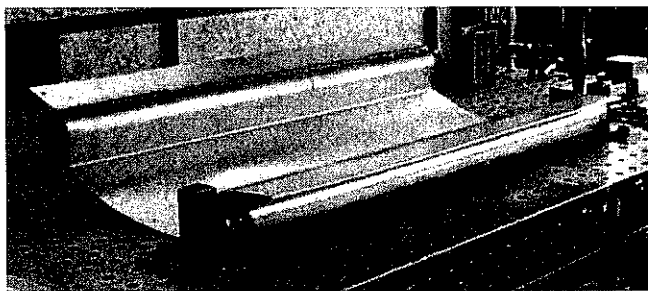


Figure 15 : Échangeur installé dans un ovoïde existant (Rabtherm), échangeur pour collecteur existant (Uhrig)

Source : Lyonnaise des Eaux

PERFORMANCE DU SYSTEME ET ECONOMIES D'ENERGIE

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

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

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

CONTRAINTES ET RECOMMANDATIONS

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

Sur les bâtiments à chauffer/rafraichir :

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 16 : Contraintes et recommandations sur les bâtiments alimentés par la chaleur des eaux usées

Sources : OFEN⁸, Lyonnaise des Eaux

Sur le réseau de collecte des eaux :

Paramètre	Contrainte/Recommandation
<u>Débit des eaux usées</u>	Débit minimum 15 L/s (moyenne quotidienne par temps sec). Ce débit est atteint pour 8 000 à 10 000 personnes raccordées au réseau. Débit favorable : entre 15 et 30 L/s Débit très favorable : supérieur à 50 L/s
<u>Diamètre du collecteur</u>	Collecteur existant : diamètre minimum de 800 mm pour que l'échangeur de chaleur puisse être installé. Renouvellement ou extension de réseau : un diamètre de 400 mm est suffisant (l'échangeur est intégré directement à la canalisation). Installation impossible : diamètre inférieur à 400 mm.
<u>Température des eaux usées</u>	La température des eaux en entrée de la station d'épuration doit de préférence être supérieure à 12°C ⁹ 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 17 : Contraintes et recommandations sur les canalisations d'eaux usées

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

⁸ 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.

⁹ 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.

2.6.1.2 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 Thermocycle¹⁰. Elle peut également être acheminée vers une pompe à chaleur. Ce système est proposé par exemple par Biofluides Environnement, PME française.

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



Figure 18 : 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.

2.6.1.3 Au niveau de la station d'épuration

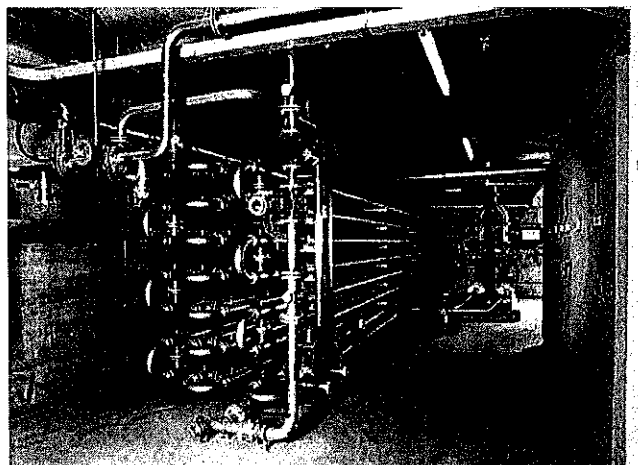
La récupération de chaleur en sortie de station d'épuration (STEP) est un procédé présentant un potentiel énergétique important. Cette énergie peut être utilisée sur le site ou peut assurer le chauffage de bâtiments situés à une distance acceptable de la STEP (Cf. ci-dessous).

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 19 : Echangeur tubulaire en sortie de STEP (Lyonnaise des Eaux, ISTINOX, ANTEA)



¹⁰ <http://www.vega-energies.com/110/>

SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT EXISTANT

Le réseau d'assainissement présent à proximité de la zone présente un diamètre de 200 mm ce qui est insuffisant pour envisager la mise en place d'un échangeur de chaleur.

SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT A CREER SUR LA ZAC

Les réseaux à créer ne présenteront probablement pas un diamètre suffisant. Leur diamètre pourrait à la rigueur être surdimensionné pour accueillir un dispositif de récupération de chaleur, mais le débit ne serait a priori pas suffisant. La charge supplémentaire induite par la ZAC sur le réseau existant et/ou la station d'épuration devra toutefois être évaluée une fois la programmation et la nature des futurs occupants de la ZAC connues précisément.

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.

2.6.3 POTENTIEL

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

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

2.7 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.).

2.7.1 GISEMENT

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

2.7.2 POTENTIEL

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

2.8 RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT

2.8.1 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.

2.8.2 GISEMENT

Il n'existe aucun réseau de chaleur ou de froid dans les environs de la ZAC.

2.8.3 POTENTIEL

Aucun réseau de chaleur existant ou en projet n'a été identifié comme pouvant être étendu à la future ZAC.

3 FILIERES DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE

3.1 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.

3.1.1 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.

3.1.2 PRODUCTIBLE

Le productible d'une installation solaire photovoltaïque est illustré sur une toiture de 500 m².

Caractéristiques de l'installation (simulation PVSYST) :

- 16 kWc en technologie polycristallin,
- environ 152 m² de modules photovoltaïques polycristallins,
- orientation sud et inclinaison à 30° en sheds sur toiture-terrasse.

Avec ces hypothèses, l'installation produit environ 18,4 MWh/an, soit plus de 1150 h/an de fonctionnement à puissance nominale.

3.1.3 CONTRAINTES

D'une manière générale, les contraintes sont les mêmes que pour la filière solaire thermique ; voir § 1.1.

3.1.4 POTENTIEL

Des panneaux solaires peuvent être mis en place sur tous les bâtiments, il n'y a pas de contrainte réglementaire. Les filières solaires photovoltaïques présentent un gisement intéressant, et pourraient être sollicitées pour contribuer à l'approvisionnement énergétique de la ZAC.

3.2 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.

3.2.1 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.

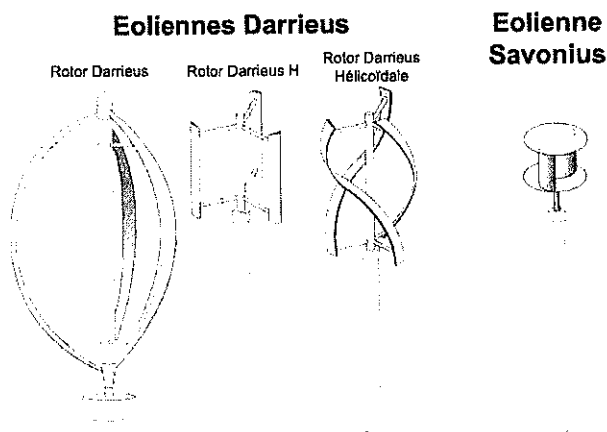


Figure 21 : Éoliennes de type Darrieus et Savonius

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.

3.2.2 GISEMENT

Le schéma régional éolien, réalisé en 2012 dans le cadre du Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) intègre une étude de la vitesse des vents à l'échelle de la région. Au regard de cette carte, la zone du projet présente des vitesses de vent moyennes de l'ordre de 5 à 5,5 m/s. Toutefois, ces vitesses sont calculées pour une hauteur de 60 m. Or les éoliennes urbaines dépassent rarement les 20 à 30 m de hauteur. Pour connaître les régimes de vent à ces altitudes il serait nécessaire d'effectuer une campagne de mesures sur le site du projet.

3.2.3 PRODUCTIBLE

Comme indiqué ci-dessus, le gisement sur le site n'est pas connu a priori. Il est en effet 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.

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 les plus au nord-nord-est, pour s'affranchir au maximum des perturbations créées par les autres bâtiments qui seront construits.

3.2.4 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.

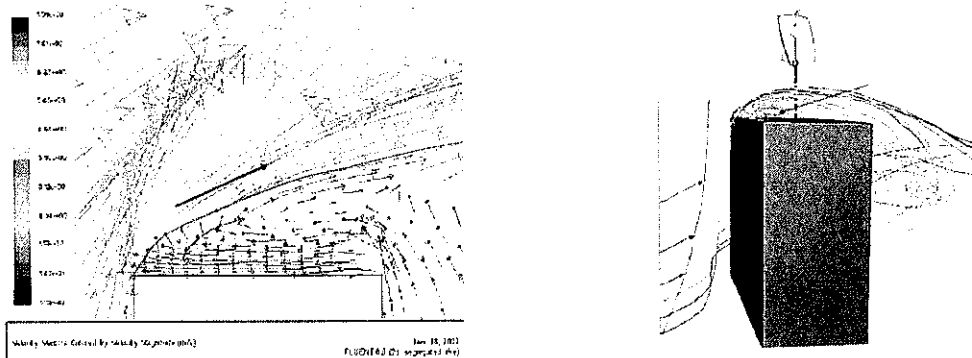


Figure 22 : Comportement du vent dans un environnement urbain (source : DVH)

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

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

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

3.2.1 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.

3.3 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).

4 FILIERE DE PRODUCTION DE BIOGAZ

4.1 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 et d'une tarification spécifique avec un contrat de 15 ans. 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.

Depuis peu, le biogaz épuré peut également être injecté sur le réseau de gaz naturel et bénéficier d'un tarif d'achat spécifique. Celui-ci est défini par l'arrêté du 23 novembre 2011 fixant les conditions d'achat du biométhane injecté dans les réseaux de gaz naturel.

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

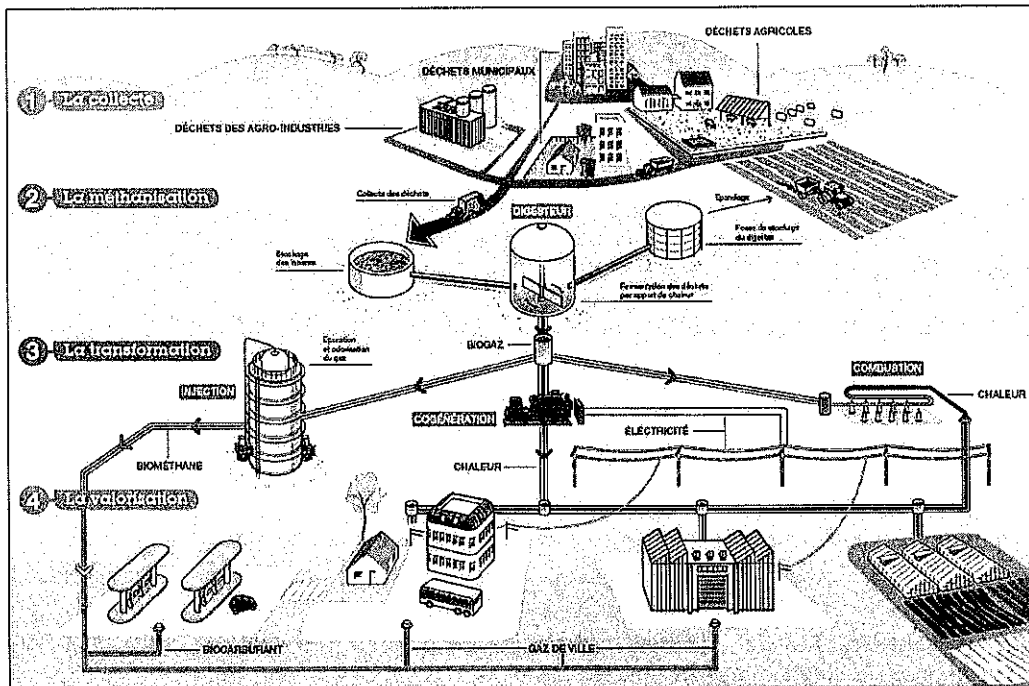


Figure 23 : Les étapes de la méthanisation (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement)

4.2 CONTRAINTES

Même si les gisements locaux de biomasse fermentescible étaient présents en quantité suffisante, mettre en place une installation de méthanisation afin d'alimenter la ZAC 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 m²¹¹, ainsi qu'un éloignement minimal de 50 mètres des habitations avoisinantes¹².

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.

4.3 POTENTIEL












Cette solution pourrait être intéressante mais à une échelle plus large que la seule ZAC et à condition que la production du réseau soit à peu près constante toute l'année.

¹¹ Source : RAEE

¹² Arrêtés du 10/11/2009 et 12/08/2010

5 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 sur la ZAC	Remarques	
CHALEUR		SOLAIRE THERMIQUE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de contrainte réglementaire ▪ Bon gisement 	
		BOIS ENERGIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ressources et offre disponibles 	
		GEOOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Potentiel intéressant à priori ▪ Test en réponse thermique nécessaire 	
		HYDROTHERMIE	Non connu	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nappe superficielle présente à 5 m environ ▪ Études hydrogéologiques complémentaires à mener pour évaluer la faisabilité sur cette nappe 	
		AEROTHERMIE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ces systèmes sont adaptés à certains types de bâtiments seulement 	
		VALORISATION DE LA CHALEUR DES EAUX USEES	INDIVIDUEL	Oui	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Séparation des eaux vannes et des eaux grises avant le dispositif
			SUR COLLECTEURS	Non	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Caractéristiques des collecteurs existants non adaptées
			SUR STEP	Non	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stations d'épuration trop éloignée
		CHALEUR FATALE	Non	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas d'opportunités 	
	RESEAU DE CHALEUR EXISTANT	Non	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas d'opportunités 		
ÉLECTRICITE		SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	Oui	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de contrainte réglementaire ▪ Gisement intéressant 	
		ÉOLIEN	ÉOLIEN URBAIN	Non connu	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Valeur d'exemplarité uniquement
		GRAND EOLIEN	Non	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proximité d'habitations 	
BIOGAZ		METHANISATION	Non	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas à privilégier en première approche 	

OPPORTUNITÉ DE RÉSEAUX DE CHALEUR OU DE FROID

L'objectif de ce paragraphe est de calculer en première approche la densité énergétique de la ZAC, sur la base des données disponibles, 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 méthodologie employée pour déterminer l'opportunité d'un réseau de chaleur est décrite en annexe B.

1 PROGRAMMATION

Aucune programmation n'a été arrêtée pour l'instant. Afin d'estimer au mieux les consommations des futurs bâtiments des hypothèses ont été considérées concernant les surfaces de SHON et la typologie des bâtiments de manière à définir une consommation de référence correspondante à la réglementation thermique.

La ZAC doit accueillir des entreprises ainsi que des activités commerciales. Le type de bâtiment sera principalement des locaux d'activités du type entrepôts aux ateliers auxquels seront accolés une partie de bureaux, ainsi que des locaux commerciaux.

Les questionnaires socio-économiques réalisés dans le cadre de la définition de la ZAC et complétés par plusieurs entreprises désireuses de s'installer sur la zone permettent d'obtenir des informations concernant le type de bâtiment et la taille des futurs lots potentiels. Sur la base de ces données, la zone constructible du projet a été découpée en 25 lots théoriques suivant le plan présenté ci-dessous.

Figure 24 : Répartition des lots de la ZAC

La surface cessible représente environ 107 000 m² sur la zone (hors aménagements routiers, hydrauliques et paysagers). En se basant sur un Coefficient d'occupation du sol théorique de 40 %, on estime que la SHON totale devrait être de l'ordre de 49 220 m² répartis sur les 25 lots de la ZAC.

Compte tenu des prévisions d'installations des entreprises sur la zone, on considère ici une répartition entre bureaux, commerces et entrepôts/atelier pour respectivement 20, 30 et 50%.

L'ensemble de ces hypothèses nous permet d'estimer la surface de chaque typologie pour l'ensemble de la ZAC selon la répartition ci-dessous.

Typologie générale	SHON
Commerces	12 840 m ²
Bureau	8 560 m ²
Ateliers/entrepôts	21 400 m ²
TOTAL	42 800 m²

Figure 25 : Résumé de la programmation par typologie de bâtiments

2 PHASAGE

Le phasage des constructions n'est pas connu à l'heure actuelle. Nous prenons l'hypothèse d'une réalisation avant 2020 ce qui implique le respect de la réglementation thermique actuellement en vigueur et des consommations d'énergies conforment à la RT 2012.

Dans un souci d'exemplarité il pourra également être envisagé d'atteindre le niveau du label Effinergie + afin de réduire les consommations d'énergie sur la zone. Dans le cas où certains bâtiments seraient construits après 2020 ils devront se conformer à la future RT 2020 qui devrait imposer l'atteinte d'un niveau « énergie positive » dont les modalités ne sont pas encore connues mais dont le calcul pourrait se rapprocher du label BEPOS-Effinergie.

3 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.



Figure 26 : Typologie des bâtiments présents aux abords de la ZAC

L'analyse de l'occupation du sol des abords du site confirme que la zone est peu aménagée. On trouve une zone commerciale à l'Ouest ainsi qu'une industrie de production d'aliments pour l'élevage. Le reste des bâtiments situés à proximité sont des bâtiments d'usage agricole relativement diffus présentant des consommations de chaleurs généralement faibles.

- Bâtiments commerciaux : aucun de ces bâtiments n'a a priori de consommations d'énergie particulièrement élevées, comme cela pourrait être le cas pour un complexe nautique ou une grande copropriété par exemple. De plus, leur nature – il s'agit de bâtiments privés – peut rendre plus complexe leur raccordement à un réseau de chaleur. Ces bâtiments ne sont pas considérés comme potentiellement raccordables à un réseau de chaleur.

- Industrie : ce type d'industrie ne présente pas de consommation de chaleur particulièrement importante de par les procédés qu'elle met en œuvre.

En ce qui concerne le bâti plus éloignés, il s'agit en majorité d'habitat individuel au nord ainsi que de quelques activités d'entrepôts ou de logistique de moindre importance.

4 BESOINS ENERGETIQUES

Les consommations finales d'énergie des bâtiments ont été calculées en supposant que le réseau de chaleur envisagé a un contenu CO₂ 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 D.

Les consommations d'énergie estimées de l'ensemble des bâtiments sont de 9 010 MWh par an :

- 3 450 MWh par an pour le chauffage,
- 390 MWh par an pour l'eau chaude sanitaire,
- Les consommations d'énergie pour la climatisation sont estimées à 170 MWh par an,
- La consommation d'électricité pour les usages d'éclairage, cuisson et équipements bruns¹³ et blancs¹⁴ est estimée à 5 010 MWh.

	Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spécifique	Eclairage	Climatisation	Total	Part en %
Commerces	1 050 MWh	100 MWh	70 MWh	510 MWh	510 MWh	40 MWh	2 280 MWh	25%
Bureaux	280 MWh	40 MWh	40 MWh	540 MWh	150 MWh	50 MWh	1 100 MWh	12%
Ateliers/entrepôts	2 120 MWh	250 MWh	170 MWh	2 470 MWh	550 MWh	80 MWh	5 630 MWh	62%
Total	3 450 MWh	390 MWh	280 MWh	3 520 MWh	1 210 MWh	170 MWh	9 010 MWh	100%
Part en %	38%	4%	3%	38%	13%	2%	100%	

Figure 27 : Récapitulatif des consommations finales pour un réseau de chaleur dont le contenu CO₂ du kWh est inférieur à 50 grammes par type de bâtiment

Sur ce type de bâtiments le poste le plus consommateur est le poste électricité spécifique, étant donnée la part importante des bâtiments de type ateliers/entrepôts. Le second poste est le poste chauffage. Toutefois, ce poste a pu être surestimé. En effet, les bâtiments à usage d'ateliers ou d'entrepôts peuvent parfois n'être pas ou très peu chauffés ce qui entraînerait une diminution de ce poste. Le poste eau chaude sanitaire est très faible, de même que le poste cuisson étant donnée la nature des bâtiments. Globalement, les consommations les plus importantes des bâtiments de la ZAC devraient venir des usages électriques tels que les équipements des bureaux, les machines des ateliers et des commerces ainsi que l'éclairage.

Les besoins en froid pour la climatisation devraient être plutôt faibles sur la zone et ne devraient pas justifier la création d'un réseau de froid. Toutefois, certaines entreprises s'installant sur la zone pourraient avoir des besoins de froid importants pour du stockage frigorifique par exemple. Dans ce cas, il serait envisageable de mettre en œuvre des solutions groupées de production de froid à l'échelle de plusieurs bâtiments ayant ce type de besoin.

¹³ Équipements touchant à l'image et au son

¹⁴ Équipements de nettoyage

5 DENSITE ENERGETIQUE

RESEAUX POTENTIELS SUR LA ZAC

Au vu des consommations calculées ci-dessus, le tracé d'un réseau de chaleur sur l'ensemble de la ZAC a été envisagé (voir Figure 10). Ce tracé permettrait d'alimenter l'ensemble des 25 lots envisagés sur la ZAC. La connaissance actuelle de la programmation de la future ZAC ne permet pas d'envisager de zones plus consommatrices que d'autres qu'il serait plus intéressant de raccorder à un réseau. La consommation des différents lots ne dépend donc que de la surface de ceux-ci.

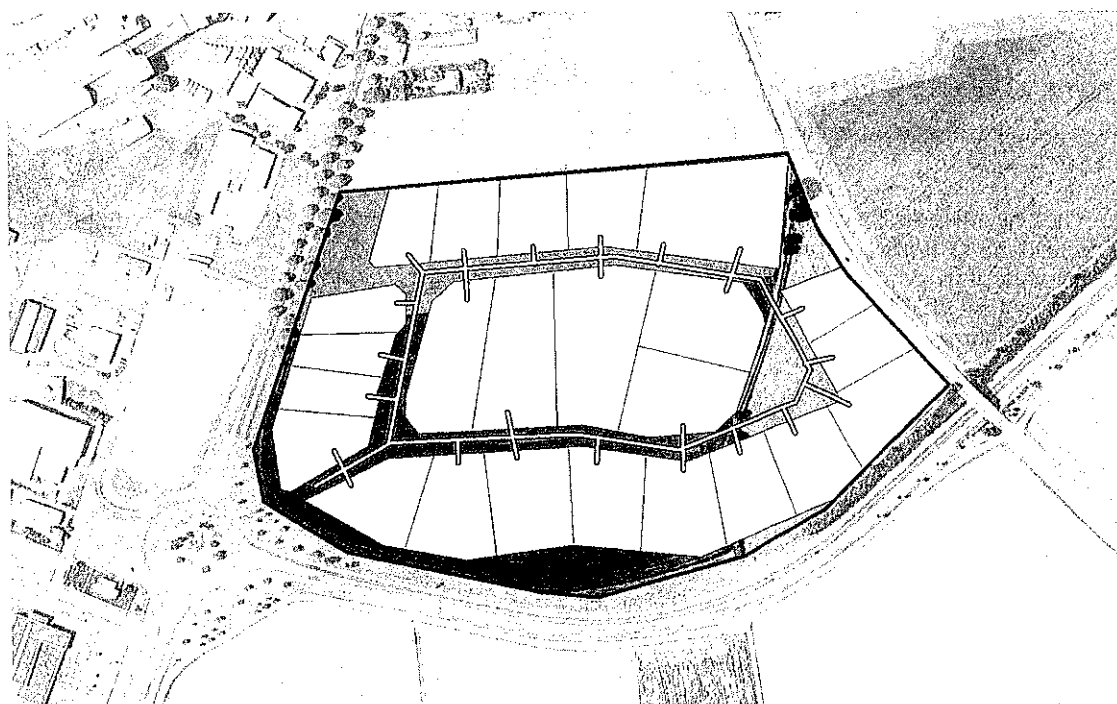


Figure 28 : Tracé du réseau de chaleur potentiel (carte : AXENNE)

Le réseau de chaleur présenté couvre les besoins de chauffage de tous les bâtiments raccordés. La couverture des besoins en eau chaude sanitaire des commerces et des bureaux n'a pas été retenue car elle est généralement trop faible pour être couverte par le réseau, les coûts supplémentaires ne se justifiant pas (sous-station supplémentaire et distribution).

Dans ce cas, les bâtiments utiliseront des équipements individuels pour l'eau chaude sanitaire tels que des chauffe-eaux thermodynamiques.

La longueur du réseau envisagé présente une longueur d'environ 1 400 ml. Au vu des consommations en énergie retenues et des longueurs des tracés, le réseau de chaleur potentiel présente une densité énergétique de 2,5 MWh_{ef}/ml.an.

La densité énergétique thermique trouvée est suffisante pour envisager un réseau de chaleur ; elle est supérieure au seuil imposé pour bénéficier du Fonds Chaleur¹⁵ qui est de 1,7 MWh_{ef}/an.

¹⁵ Voir Annexe B.

RESEAU POTENTIEL RACCORDANT DES BATIMENTS A PROXIMITE

Comme nous l'avons vu précédemment (voir 3 page 35) les bâtiments à proximité de la ZAC ne présentent pas des consommations de chaleur et/ou de froid très importantes.

La création d'un réseau à l'échelle de la ZAC bénéficierait d'une densité énergétique à priori suffisante pour permettre sa rentabilité. Toutefois, dans le cas où un réseau de chaleur venait à être créé sur la ZAC, il pourrait être intéressant de se rapprocher des propriétaires de la zone commerciale située à proximité pour envisager leur raccordement à ce réseau. Toutefois, ces bâtiments sont généralement équipés de systèmes aérothermiques qui rendent le raccordement complexe et peu intéressant pour le propriétaire d'un point de vue économique.

INTERET ET FAISABILITE D'UN RESEAU DE CHALEUR SUR LA ZONE D'AMENAGEMENT

Au vu de la densité énergétique théorique calculée ci-dessus, la création d'un réseau de chaleur semble pertinente sur la ZAC.








Malgré tout, les hypothèses prises dans ce calcul concernent une programmation théorique qui pourrait être très différente dans la réalité. De plus, comme indiqué précédemment, les bâtiments de type ateliers ou entrepôts peuvent dans certains cas ne pas être chauffés ou très peu. Dans ce cas, étant donnée la part importante de ce type de bâtiments qui a été considérée dans le calcul, la rentabilité du réseau pourrait être plus difficile à atteindre.

Enfin, et c'est sûrement l'argument le plus important, la commercialisation des lots ne sera probablement pas réalisée en une seule phase. Ainsi, les bâtiments pourraient être construits à des intervalles de temps importants et le réseau de chaleur pourrait n'alimenter que quelques bâtiments dans un premier temps.

Dans un tel contexte d'incertitude, la création d'un réseau de chaleur semble difficile à justifier sur la zone et **il est recommandé de faire appel à des solutions individuelles** à l'échelle des bâtiments, voire de groupes de bâtiments.

ENERGIES RENOUVELABLES ET SYSTEMES ADAPTES A L'OPERATION

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 la ZAC.

		Commerces	Bureaux	Entrepôts / ateliers
	Panneaux solaires thermiques	ECS ♣ <i>Si besoins conséquents</i>	ECS ♣ <i>Si besoins conséquents</i>	
	Chauffage solaire de l'air de ventilation			Chauffage ☼
	Chaudière bois collectives	Chauffage ☼	Chauffage ☼	Chauffage ☼
	Micro-cogénération au bois	Chauffage ☼ / électricité ⚡	Chauffage ☼ / électricité ⚡	Chauffage ☼ / électricité ⚡
	PAC sur capteurs verticaux ou pieux géothermiques	Chauffage ☼ / rafraîchissement ❄	Chauffage ☼ / rafraîchissement ❄	Chauffage ☼ / rafraîchissement ❄
	PAC sur nappe	Chauffage ☼ / rafraîchissement ❄	Chauffage ☼ / rafraîchissement ❄	Chauffage ☼ / rafraîchissement ❄
	VMC double-flux thermodynamique	Chauffage ☼ / rafraîchissement ❄	Chauffage ☼ / rafraîchissement ❄	
	Chauffe-eau thermodynamique sur air vicié	ECS ♣ <i>Si besoins conséquents</i>	ECS ♣ <i>Si besoins conséquents</i>	
	Panneaux solaires photovoltaïques en toiture	Electricité ⚡	Electricité ⚡	Electricité ⚡
	Eolien urbain en toiture	Electricité ⚡	Electricité ⚡	Electricité ⚡

ECS : eau chaude sanitaire - PAC : pompe à chaleur

A noter : Certains équipements fonctionnent avec un appoint.

La solution qui semble la plus adaptée aux bâtiments de la ZAC est le recours au **bois énergie** pour le chauffage. Des chaufferies pourront être installées pour les besoins d'un ou plusieurs bâtiments formant un mini-réseau. Il pourra être également envisagé la mise en œuvre de chaudières à micro-cogénération permettant de produire à la fois de la chaleur pour le chauffage (et éventuellement certains process) et de l'électricité vendue ou consommée sur place

Les **solutions géothermiques** peuvent également être intéressantes pour l'alimentation des bâtiments, et présentent l'avantage d'être réversibles afin de produire du froid en été (pour les bâtiments ayant ce type de besoins). En ce qui concerne la géothermie sur nappe (hydrothermie), il serait alors nécessaire de réaliser une étude approfondie avec un forage test afin de valider la faisabilité de ce système. Cette solution pourrait ainsi être envisagée sur les bâtiments les plus consommateurs ou sur un groupe de plusieurs bâtiments. Dans le cas où la nappe n'est pas exploitable, la solution des sondes géothermiques pourrait également être envisagée une fois validée par un test en réponse thermique du sol, afin d'alimenter les bâtiments de manière individuelle.

Pour les bâtiments ayant de faibles besoins, par exemple à usage exclusif de bureau, on pourra recourir à des solutions aérothermiques type **VMC double flux** couplée à une pompe à chaleur qui fourniront à la fois chauffage en hiver et climatisation en été.

Enfin, pour les bâtiments de grand volume peu chauffés, tels que les hangars ou ateliers, on pourra recourir au **chauffage solaire de l'air de ventilation**, si les caractéristiques du bâtiment le permettent.

La faisabilité d'un réseau de chaleur ne semble pas pertinente sur la ZAC, les solutions en réseau ne sont par conséquent pas présentées.

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

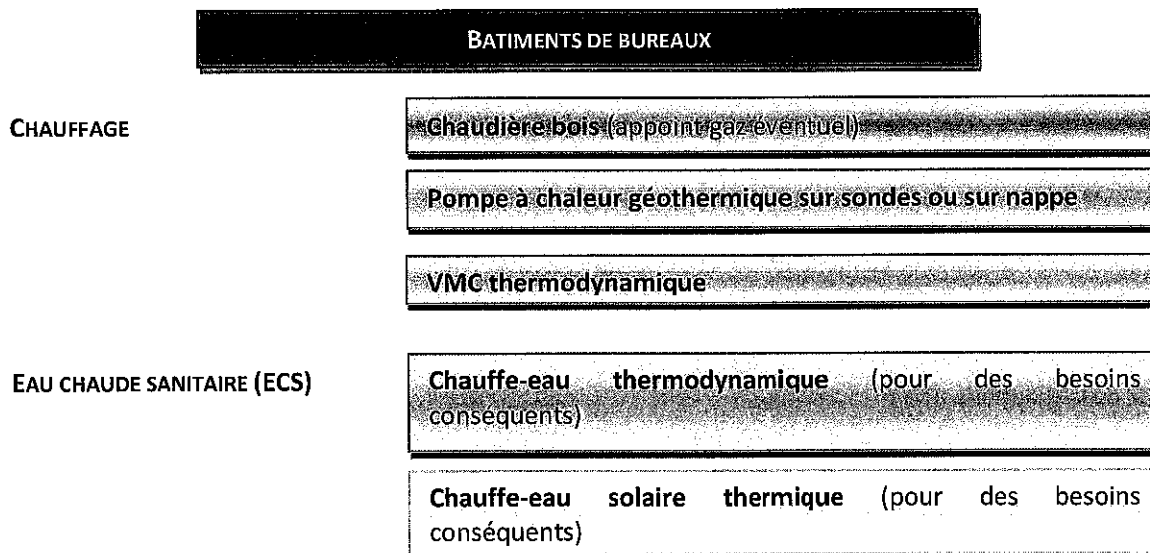
Les besoins en électricité étant très importants au niveau de la ZAC, la production sur le site pour l'autoconsommation pourrait être envisagée via la micro-cogénération (voir ci-dessus) ou des panneaux solaires photovoltaïques installés en toitures ou en ombrières sur les parkings. Cette dernière solution pourrait également être couplée à des infrastructures de charge pour véhicules électriques et à l'éclairage public.

Chacune de ces solutions est détaillée ci-dessous, sous forme de fiches techniques qui présentent les avantages, leurs conditions d'installation et d'utilisation, ainsi que des éléments technico-économiques.

1 LES SOLUTIONS THERMIQUES

1.1 LES BATIMENTS DE BUREAUX OU DE COMMERCE

Le graphique ci-dessous présente les possibilités de mise en place d'installations utilisant les énergies renouvelables pour les bâtiments de bureaux ou de commerce, par mode de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire.



Remarques :

- ❑ La plupart des solutions utilisant des énergies renouvelables pour la production d'ECS ne sont pas encore rentables pour des besoins faibles et discontinus. Lorsque les besoins sont suffisamment importants, un chauffe-eau thermodynamique ou solaire peut être envisagé.
- ❑ Concernant la géothermie, il peut s'agir de :
 - Forage sur la nappe des sables, argiles et calcaires du Tertiaire de la Plaine de la Limagne. Si plusieurs bâtiments ont recours à cette solution, attention à gérer les interactions des différents forages entre eux et leurs influences sur la température de la nappe.
 - Sondes géothermiques ou pieux géothermiques.
- ❑ Les solutions avec pompe à chaleur (géothermie et VMC thermodynamique) permettent également le rafraîchissement en été.

FONCTIONNEMENT

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



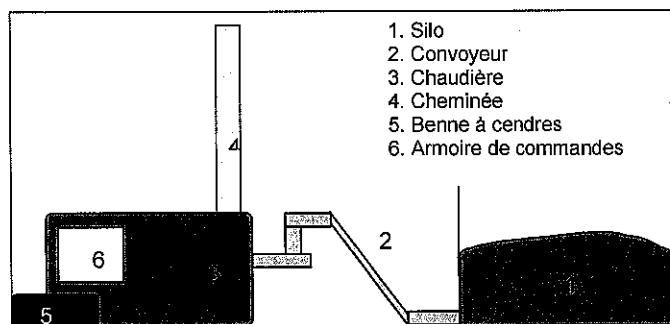
Les **granulés de bois** sont produits par compression et agglomération de sciure (pas d'agent de liaison). Ce sont de petits cylindres de 6 à 10 mm de diamètre et de 2 cm de long. Ils sont utilisés dans les **poêles** et les **chaudières à alimentation automatique de petite puissance**. Leur coût est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



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

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

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



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

AVANTAGES DU BOIS ENERGIE

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

- Des ressources locales 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 (CO₂) puisque sa combustion émet autant de CO₂ qu'elle n'en a absorbé au cours de sa croissance. À ce titre, le développement de son utilisation, en substitution aux énergies traditionnelles, constitue l'un des leviers privilégiés de la lutte contre le changement climatique.
- Le contexte haussier du prix des énergies traditionnelles : alors que les énergies fossiles ont longtemps été les énergies les moins chères, la récente envolée des prix du pétrole rend compétitive la valorisation des ressources locales comme la biomasse.
- Les progrès techniques et la diffusion massive des matériels a permis une baisse des coûts d'investissement, la maturité technique des offres bois-énergie n'est aujourd'hui plus à démontrer.



CONDITIONS A RESPECTER
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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
<p>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 :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les performances de certaines chaudières 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. <p>La taille du silo de stockage est calculée en fonction de l'autonomie souhaitée (au moins une semaine par grand froid pour les petites chaudières) ou suivant la taille des véhicules de livraison.</p>
BATIMENTS CIBLES
<p>Les bâtiments opportuns pour une chaudière bois énergie présentent préférentiellement les caractéristiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Un espace disponible pour l'installation de la chaudière et du silo de stockage : local technique, réserve foncière disponible autour du bâtiment. ▪ Un accès pour le passage des camions et l'approvisionnement en combustible (prévoir une aire de retournement pour les véhicules de livraison suivant la configuration du site).
ÉLÉMENTS ECONOMIQUES
<p>Pour une chaudière de 100 à 300 kW, l'investissement global se situe entre 1 000 et 2 000 € HT/kW. Lorsque la puissance est comprise entre 300 et 1 200 kW, l'investissement global se situe plutôt entre 750 et 1 500 € HT/kW. Les fourchettes de prix sont très importantes et varient en fonction du type de projet, de la nature du maître d'ouvrage, des aménagements de génie civil à effectuer, de la reprise d'éléments existants, etc.</p> <p>L'exploitation de la chaufferie jusqu'à 500 kW environ nécessite le passage d'un technicien une ou plusieurs fois par semaine (en moyenne 1 à 5 heures par semaine) pour vérifier le bon état de marche, gérer la livraison de combustibles, effectuer le petit entretien et le décaissage. En comptant l'ensemble de ces tâches plus les autres coûts (ramonage, petit et gros entretien), le coût d'exploitation annuel est d'environ 2 000 – 3 000 €/an.</p>

LA POMPE À CHALEUR (PAC) GÉOTHERMIQUE

FONCTIONNEMENT

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



En surface

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

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

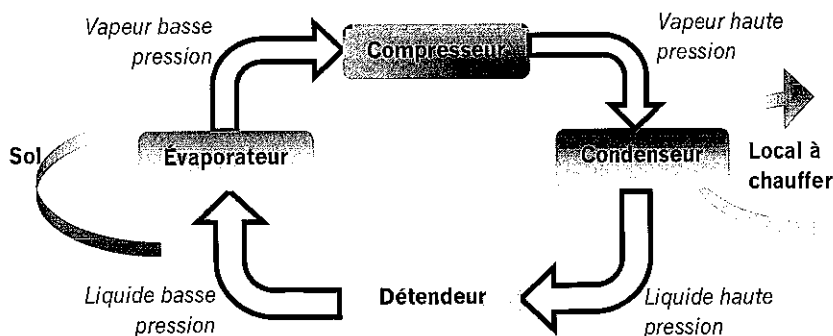
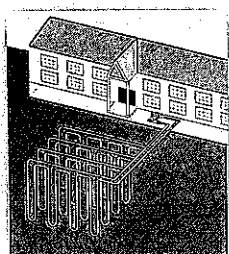


Schéma de principe d'une pompe à chaleur

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

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

En sous-sol

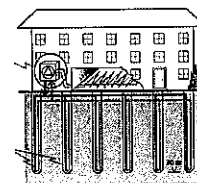


Les capteurs verticaux sont constitués de deux tubes en forme de U installés dans un forage (jusqu'à 100 mètres de profondeur). De l'eau additionnée de liquide antigel circule dans les tubes.

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

Champ de sondes géothermiques (BRGM)

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



Géostructure énergétique (géothermie.ch)

AVANTAGES DE LA GEOTHERMIE
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les pompes à chaleur géothermiques ont un très bon rendement énergétique (de 3 à 5 kWh thermiques fournis pour 1 kWh électrique consommé). ▪ La géothermie est une énergie locale qui ne dépend pas des conditions atmosphériques, donc son potentiel ne fluctue pas : c'est une énergie fiable et constante. ▪ La géothermie permet d'envisager le refroidissement des locaux en été, c'est une des rares technologies respectueuses de l'environnement pour ce type d'application.
CONDITIONS A RESPECTER
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vérifier préalablement à tous travaux si le site se prête à ce type d'installation (caractéristiques géotechniques du sol, accès pour un engin de forage, etc.). ▪ Vérifier l'interférence avec d'éventuelles autres installations situées à proximité. ▪ Transmettre les informations concernant l'installation au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) qui réalise un suivi des installations existantes. ▪ Installer une pompe à chaleur capable de démarrer à vide ou équipée d'un démarrage progressif pour limiter l'appel de puissance. ▪ Choisir une pompe à chaleur dont le coefficient de performance (COP) est élevé : pour cela, se rapprocher de l'ADEME qui donnera le COP minimal pour bénéficier des aides disponibles. ▪ Faire installer la pompe à chaleur par un installateur QualiPAC ; faire réaliser les forages par un installateur Qualiforage. Ces agréments sont délivrés par l'association Qualit'EnR, qui promeut la qualité des prestations des professionnels installateurs. ▪ L'émission de chaleur se fera préférentiellement via des émetteurs basse température afin d'améliorer les performances de la pompe à chaleur.
DIMENSIONNEMENT
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sur sondes <p>Une sonde 100 mètres de profondeur fournit une puissance thermique d'environ 5 kW. En considérant que la pompe à chaleur associée au forage a un COP de 3,5, la puissance thermique fournie au bâtiment ou au réseau de chaleur est d'environ 7 kW par sonde. Plusieurs sondes peuvent être installées pour un même bâtiment ; elles doivent alors être espacées d'au moins 10 mètres.</p>
ÉLEMENTS ECONOMIQUES
<p>L'investissement pour une pompe à chaleur s'élève à 300 €/kW environ. Pour le forage de capteurs verticaux, l'investissement s'élève à 50 à 90 € par mètre foré. Ces valeurs sont cependant très variables en fonction des caractéristiques des sols.</p>

LA POMPE À CHALEUR (PAC) SUR NAPPE

FONCTIONNEMENT

L'hydrothermie ou géothermie sur nappe consiste à utiliser les calories de l'eau d'une nappe (ou d'un cours d'eau) pour chauffer ou rafraîchir les bâtiments. Un doublet géothermique est nécessaire : un puits de captage et un puits de rejet.



En surface

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

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

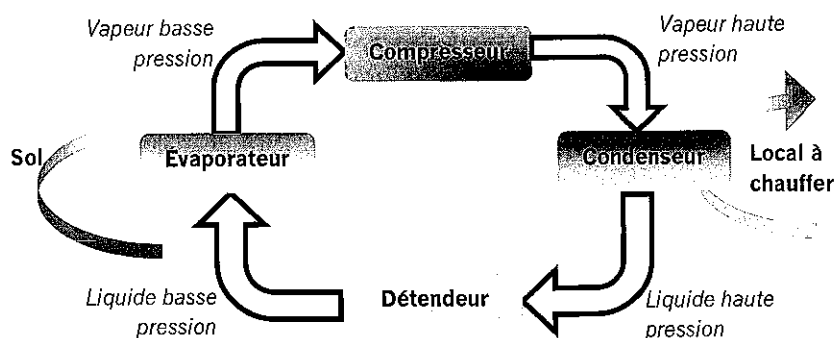


Schéma de principe d'une pompe à chaleur

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

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

En sous-sol

Lorsque la chaleur est captée dans un aquifère, la présence d'une nappe d'eau à faible profondeur est bien sûr indispensable. Son débit doit être suffisant pour chauffer le bâtiment. Selon ces caractéristiques physico-chimiques, l'eau captée peut ensuite être rejetée dans une rivière ou dans un plan d'eau ou – le plus souvent – devra être réinjectée dans la nappe.

AVANTAGES DE LA GEOTHERMIE

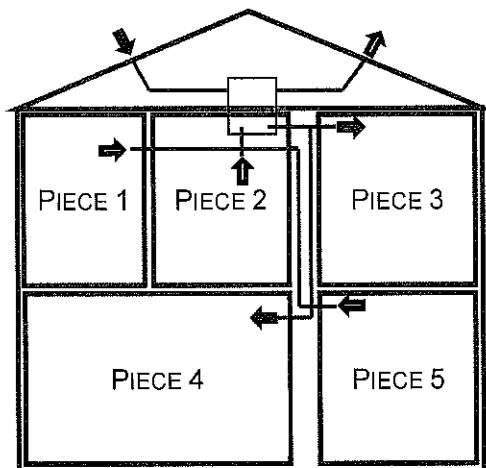
- Les pompes à chaleur associées aux doublets géothermiques ont un très bon rendement énergétique (de 3 à 5 kWh thermiques fournis pour 1 kWh électrique consommé).
- L'hydrothermie ou géothermie sur nappe est une énergie locale qui ne dépend pas des conditions atmosphériques, donc son potentiel ne fluctue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

CONDITIONS A RESPECTER
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vérifier préalablement à tous travaux si le site se prête à ce type d'installation (pour un puisage dans la nappe : potentiel thermique, caractéristiques hydrogéologiques de la nappe et présence d'autres installations, pour des capteurs verticaux : accès pour un engin de forage, etc.). ▪ Surveiller la température de l'eau de la nappe pour vérifier si ces équipements ne risquent pas d'impliquer une modification de son équilibre à long terme. Vérifier l'interférence avec d'éventuelles autres installations. ▪ Vérifier la réglementation s'appliquant dans le cas d'un puisage dans la nappe : déclaration auprès de la de l'autorité administrative (DREAL, DDT). Il est important de transmettre également les informations au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) qui réalise un suivi des installations existantes. ▪ Mettre en place des dispositifs de mesure des débits prélevés et rejetés dans la nappe. ▪ Installer une pompe à chaleur capable de démarrer à vide ou équipée d'un démarrage progressif pour limiter l'appel de puissance. ▪ Choisir une pompe à chaleur dont le coefficient de performance (COP) est élevé : pour cela, se rapprocher de l'ADEME qui donnera le COP minimal pour bénéficier des aides disponibles. ▪ Faire installer la pompe à chaleur par un installateur QualiPAC ; faire réaliser les forages par un installateur Qualiforage. Ces agréments sont délivrés par l'association Qualit'EnR. ▪ L'émission de chaleur se fera préférentiellement via des émetteurs basse température afin d'améliorer les performances de la pompe à chaleur.
DIMENSIONNEMENT
<p>▪ Sur eau de nappe</p> <p>Une nappe présentant un débit de 30 m³/h et une température de 12°C fournit une puissance thermique d'environ 200 kW si l'eau est rejetée à 6°C. 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 280 kW.</p>
ÉLEMENTS ECONOMIQUES
<p>L'investissement pour une pompe à chaleur s'élève à 300 €/kW environ. Un forage sur la nappe coûte environ 2 000 € par mètre foré. Ces valeurs sont cependant très variables en fonction des caractéristiques des sols.</p>

LA VMC¹⁶ THERMODYNAMIQUE

FONCTIONNEMENT

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



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

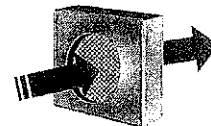
L'air vicié chaud est extrait des sanitaires et des autres pièces via des bouches d'extraction ; il traverse la VMC double flux et préchauffe ainsi l'air entrant. Un ventilateur pulse l'air neuf préchauffé dans la pompe à chaleur. L'air entrant atteint enfin la température de consigne (généralement 19°C)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

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

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

AVANTAGES

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



CONDITIONS A RESPECTER

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

ÉLEMENTS ECONOMIQUES

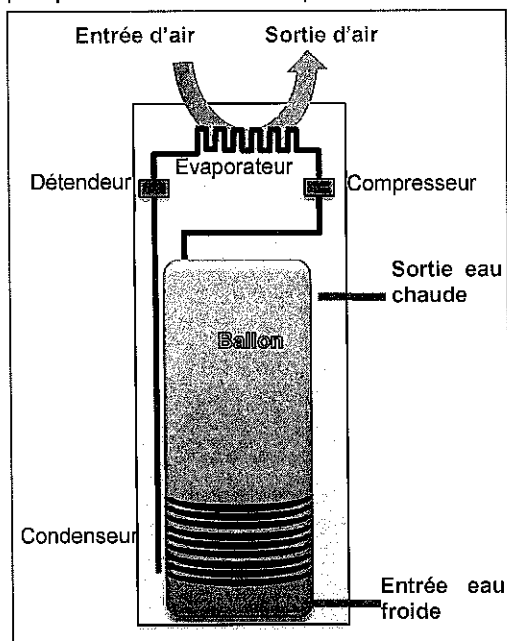
L'investissement pour une VMC thermodynamique dont la puissance du compresseur est de 1,3 kW est de 17 000 €HT environ. La maintenance consiste à réaliser des opérations de contrôle, à nettoyer ou remplacer les filtres, nettoyer l'évaporateur. Ces opérations coûtent 200 à 300 € HT par an.

¹⁶ Ventilation Mécanique Contrôlée

LE CHAUFFE-EAU THERMODYNAMIQUE (CET)

FONCTIONNEMENT

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



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

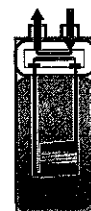
- un évaporateur : le fluide frigorigène capte la chaleur de l'air du local et s'évapore,
- un compresseur : la vapeur du fluide frigorigène est comprimée, ce qui augmente sa température,
- un condenseur : le fluide frigorigène se condense en liquide et cède sa chaleur, via un échangeur, au ballon d'eau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

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

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

AVANTAGES

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



CONDITIONS A RESPECTER

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

ÉLÉMENTS ECONOMIQUES

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

LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE COLLECTIF (CESC)

FONCTIONNEMENT

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

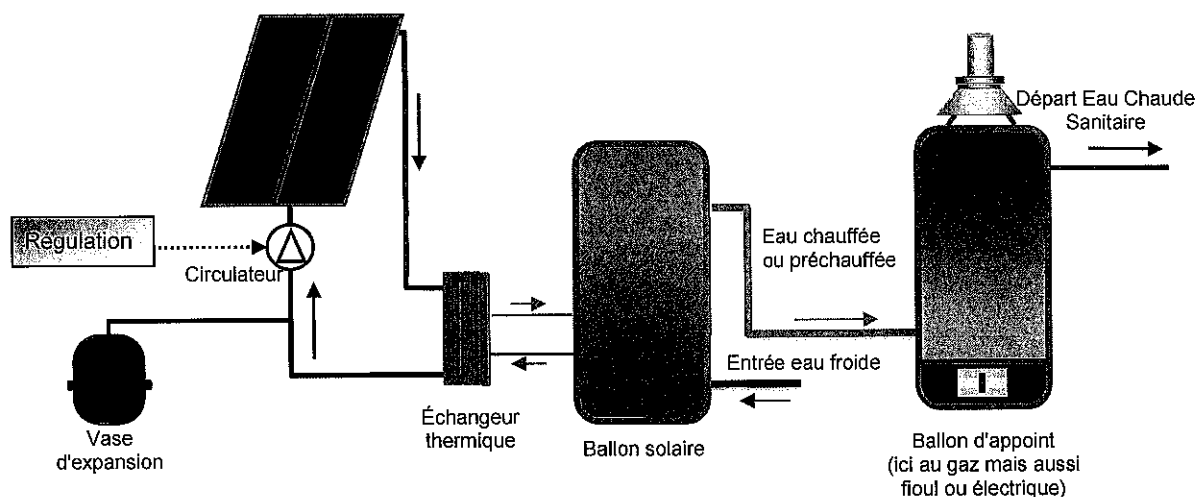


Schéma d'un Chauffe-Eau Solaire Collectif

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

AVANTAGES DU SOLAIRE THERMIQUE

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

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



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

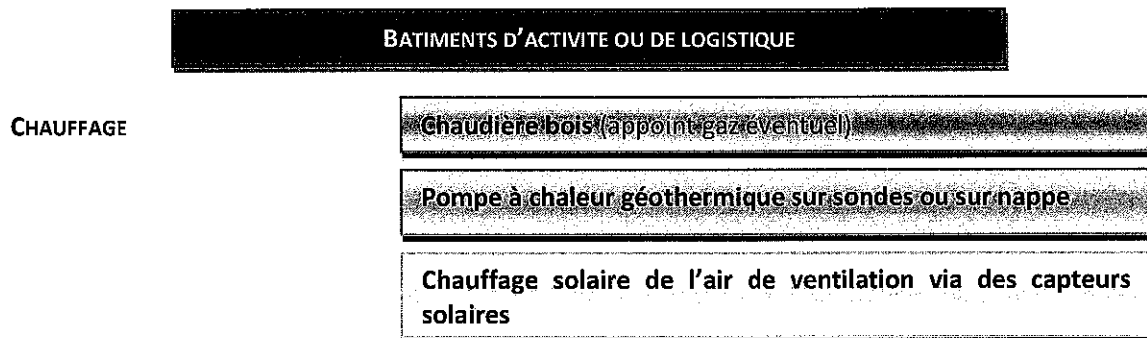
CONDITIONS A RESPECTER

- Une consommation d'eau chaude relativement constante tout au long de l'année et effective les mois d'été (éviter ce type d'installation dans les écoles, mais les privilégier sur les maisons de retraite, les foyers, les piscines municipales, etc.).

<p>☐ Une architecture étudiée en amont afin de prévoir un emplacement optimum pour l'intégration des capteurs au bâti et leur production. Idéalement, les capteurs sont orientés plein sud. Toutefois il faut tenir compte des masques environnants et de l'orientation du site. La puissance délivrée par l'installation est maximale dans le cas où le rayonnement solaire est perpendiculaire aux capteurs. Par ailleurs, il est intéressant d'incliner les capteurs en fonction de la période où l'on souhaite le plus de production. Idéalement, les capteurs solaires sont inclinés à 45° pour la production d'eau chaude sanitaire.</p> <p>☐ L'installation de réducteur de débit sur tous les points d'eau, ce qui permet d'envisager une installation dimensionnée au plus juste et garantit des économies d'eau.</p>
<p>BATIMENTS CIBLES</p>
<p>Pour tous les types de bâtiments, plus la consommation d'eau chaude du bâtiment est régulière sur l'année, plus l'installation de capteurs solaires thermiques sera une opération rentable. En particulier, il faut éviter une baisse trop importante de la demande en été.</p>
<p>DIMENSIONNEMENT</p>
<p>En première approximation, on dimensionne 1 m² de capteur solaire thermique pour environ 40 L d'eau chaude consommée par jour dans la région (avec une couverture du solaire thermique de 55% des besoins).</p>
<p>ÉLEMENTS ECONOMIQUES</p>
<p>En première approximation, les hypothèses suivantes peuvent être prises :</p> <p>☐ Investissement pour un chauffe-eau solaire collectif :</p> <ul style="list-style-type: none"> · Pour une surface de capteurs inférieure à 50 m² : 1 200 € HT par m² de capteurs, · Pour une surface de capteurs inférieure à 100 m² : 1 000 à 1 100 € HT par m² de capteurs, · Pour une surface de capteurs supérieure à 100 m² : 800 à 1 000 € HT par m² de capteurs, <p>☐ Exploitation (ordres de grandeur) :</p> <ul style="list-style-type: none"> · 100 € HT par an pour des installations de moins de 10 m², · 165 € HT par an pour des installations de moins de 100 m², · De 300 à 500 € HT par an pour des installations supérieures à 100m². <p>☐ Économies générées : réduction de la consommation d'eau chaude de 55% à 60%. Les économies dépendent de l'énergie utilisée auparavant ou substituée.</p>

1.2 LES ATELIERS ET ENTREPOTS

Le graphique ci-dessous présente les possibilités de mise en place d'installations utilisant les énergies renouvelables pour les ateliers et entrepôts.



Chaudière bois et pompe à chaleur géothermique : Cf. § ci-dessus

LE CHAUFFAGE SOLAIRE DE L'AIR DE VENTILATION

FONCTIONNEMENT

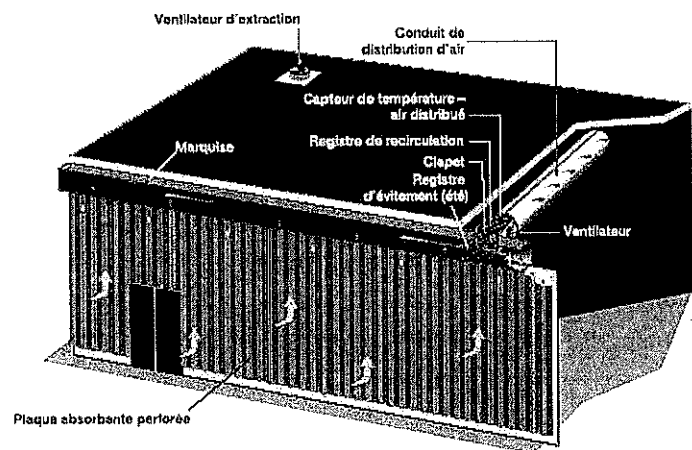
Le capteur le plus communément utilisé pour le chauffage de l'air de ventilation est le capteur solaire à plaque perforée sans vitrage, et cela, grâce à son faible coût, à sa grande efficacité ainsi qu'à sa facilité d'installation.

Un système de chauffage solaire de l'air comprend deux parties : un capteur solaire monté sur la façade du bâtiment la plus ensoleillée, ou en toiture, et un système de distribution d'air avec ventilateur installé à l'intérieur du bâtiment.

Le principe de ce type de capteur est un recouvrement mural extérieur professionnel perforé de nombreux petits trous espacés de 2 à 4 cm (absorbeur à plaque perforée) qui est installé sur le mur le plus ensoleillé du bâtiment. L'air passe par les trous du le capteur dans lequel il est réchauffé avant d'être envoyé à l'intérieur du bâtiment afin de fournir un nouvel air de ventilation préchauffé.

Il est toujours nécessaire de recourir à un appoint, l'énergie solaire ne pouvant pas couvrir l'intégralité des besoins (en particulier en hiver), sauf dans certains cas où seul le maintien hors gel est recherché par exemple.

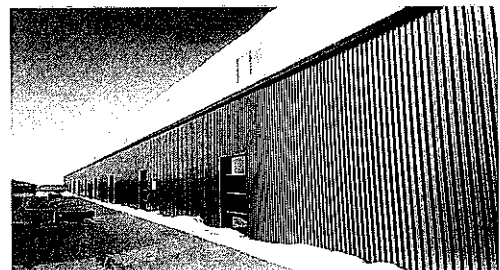
Remarque : L'été, le capteur empêche le soleil d'atteindre le mur du bâtiment ; une autre entrée d'air, non située au sud, est utilisée pour la ventilation.



AVANTAGES DU CHAUFFAGE SOLAIRE DE L'AIR DE VENTILATION

Encore peu utilisé en Europe, le chauffage solaire de l'air des bâtiments est couramment utilisé, notamment au Canada. Le chauffage de l'air intérieur des bâtiments via des capteurs solaires présente les avantages suivants :

- ❑ la ressource d'énergie utilisée est renouvelable et gratuite, aucune pénurie ou fluctuation des prix n'est à craindre ;
- ❑ le processus de production de chaleur n'a aucun impact sur l'environnement (pas de rejets polluants, pas de déchets, etc.) ;
- ❑ quelle que soit l'énergie substituée (électricité, fioul ou gaz), les rejets de gaz à effet de serre évités sont importants.
- ❑ ces systèmes peuvent être très rentables, particulièrement lorsqu'ils remplacent un revêtement mural du bâtiment classique.
- ❑ ces systèmes permettent d'effectuer le renouvellement d'air requis sans que cela occasionne de pertes de chaleur importantes.



CONDITIONS A RESPECTER
<ul style="list-style-type: none">☐ Ce type d'installation est particulièrement bien adapté lorsque la température intérieure souhaitée ne doit pas nécessairement atteindre une vingtaine de degrés ; par exemple, des entrepôts de stockage et de logistique. <i>Remarque</i> : Il peut également être installé pour du séchage de récolte ou du séchage industriel.☐ Une orientation idéalement au sud tout en tenant compte des masques environnants (végétation, bâtiments, etc.) et de l'orientation du site.
DIMENSIONNEMENT
Le dimensionnement dépend du volume à ventiler et à chauffer, de la localisation du projet, mais aussi de la surface de façade (ou toiture) correctement orientée.
BATIMENTS CIBLES
Les systèmes de chauffage solaire de l'air de ventilation répondent à diverses utilisations et applications, du chauffage et de la ventilation de bâtiments industriels et commerciaux au séchage industriel de récolte.
ÉLÉMENTS ECONOMIQUES
<p>Le coût du revêtement est comparable à celui d'un mur de briques, et le coût de l'installation totale des systèmes peut être inférieur à celui de parois en métal ou de murs en maçonnerie.</p> <p>Ce type d'équipement ne contient aucune pièce mobile et ne nécessite pratiquement aucun entretien.</p> <p>Le temps de retour sur investissement est de quelques années seulement.</p>

2 LES SOLUTIONS ELECTRIQUES

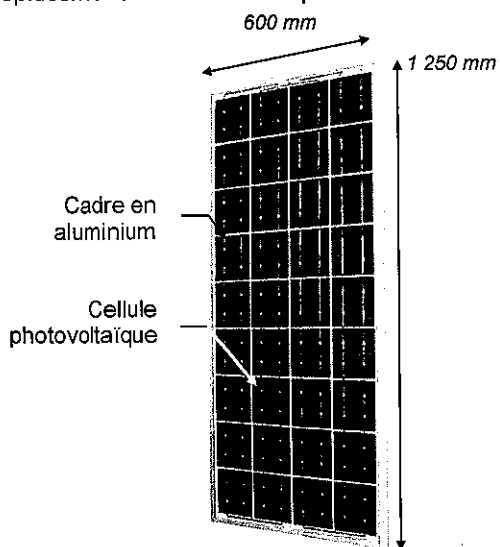
LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

FONCTIONNEMENT

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

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

Chaque cellule photovoltaïque ne génère qu'une petite quantité d'électricité. Elles sont donc assemblées en série pour constituer un **module photovoltaïque**, qui se compose généralement d'un circuit de 36 à 60 cellules. Le matériau utilisé étant très fragile, les cellules sont protégées par des plaques de verre ou, à l'arrière, par un matériau composite. Un cadre en aluminium permet la fixation de ce module sur différents types de supports. Des modèles sans cadre permettent différentes variantes pour l'intégration architecturale.



Module photovoltaïque

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

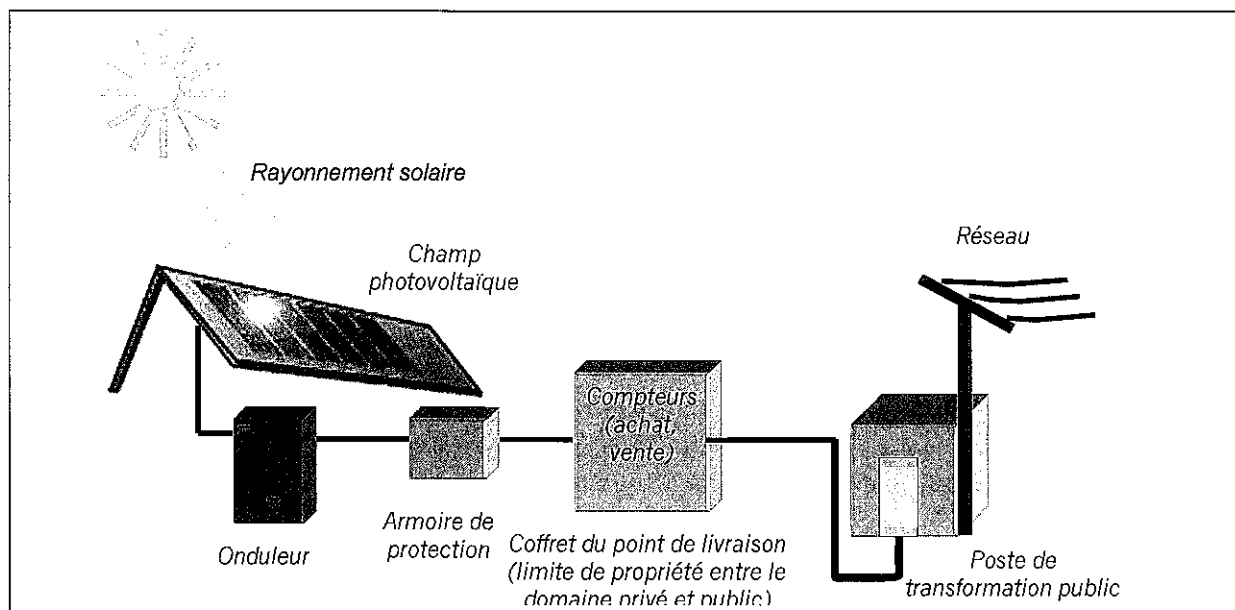


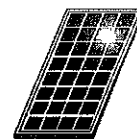
Schéma de principe d'une installation photovoltaïque

Les matériaux employés (verre, aluminium) résistent aux pires conditions climatiques (notamment à la grêle). Les modules photovoltaïques sont généralement garantis 25 ans et leur durée de vie est d'environ 40 ans.

AVANTAGES DU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

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

- la ressource d'énergie utilisée est renouvelable, aucune pénurie ou fluctuation des prix n'est à craindre,
- la production d'électricité est réalisée sans qu'il y ait aucune pièce en mouvement, ce qui entraîne des frais de maintenance excessivement faibles et une exploitation aisée (les modules sont auto nettoyés avec la pluie),
- le processus de production d'électricité n'a aucun impact sur l'environnement (ni rejet polluant, ni déchet, ni bruit, etc.),
- ce qui est produit est généralement consommé sur place, ce qui présente un intérêt du point de vue électrique puisque les pertes dans les câbles sont très faibles (contrairement au mode de production décentralisée, ex : centrale nucléaire). Même si l'électricité produite par les installations est injectée sur le réseau, en pratique l'électricité choisit le plus court chemin et est utilisée à l'endroit le plus proche de sa production,
- La filière de recyclage des panneaux de première génération se met en place. La demande devrait augmenter à partir de 2015, année à laquelle les premières centrales photovoltaïques construites devront être démantelées. L'association PV Cycle, créée en 2007, se donne pour objectif de recycler 85% du module et d'être totalement gratuit pour l'utilisateur. À compter de 2018, les panneaux photovoltaïques entreront dans le cadre de la directive européenne DEEE, il sera alors impératif pour les producteurs de collecter les panneaux en fin de vie.



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

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

CONDITIONS A RESPECTER

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

DIMENSIONNEMENT

Caractéristiques d'une installation pouvant être installée sur une toiture d'un bâtiment industriel :

- 16 kWc en technologie polycristallin,
- environ 152 m² de modules photovoltaïques polycristallins,
- orientation sud et inclinaison à 30° en sheds sur toiture-terrasse.

Avec ces hypothèses, l'installation produit environ 18,4 MWh/an, soit plus de 1150 h/an de fonctionnement à puissance nominale.

BATIMENTS CIBLES

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

ÉLÉMENTS ECONOMIQUES

Polycristallin	3 kWc	36 kWc	100 kWc
Investissement	3,3 € HT/Wc	2,6 € HT/Wc	2,4 € HT/Wc
Raccordement	500 € HT	1 500 € HT	15 000 € HT
Exploitation – maintenance – assurances	100 € HT/an	1 300 € HT/an	3 300 € HT/an

Attention ! Ces coûts évoluent rapidement : le coût du Wc a baissé presque linéairement entre 1995 et 2010, d'environ 0,5 € par an. Le prix du module à la sortie de l'usine va continuer de baisser, grâce à l'effet d'expérience et à la pression de la concurrence. Cette baisse s'est accélérée en 2011 avec la mise en place du nouveau système de tarifs d'achat de l'électricité photovoltaïque.

Achat de l'électricité produite

Les projets de moins de 100 kW font l'objet d'un système de tarif d'achat ajustable chaque trimestre et les projets de plus de 100 kW d'un système d'appel d'offres. Ces tarifs sont révisés tous les trois mois ; les nouveaux tarifs sont calculés par la Commission de Régulation de l'Énergie et font l'objet d'un arrêté.

☞ Les tarifs d'achats du trimestre en cours sont détaillés sur le site :

<http://www.photovoltaique.info/Aujourd-hui-arrete-du-4-mars-2011>

ÉOLIEN URBAIN

FONCTIONNEMENT

Éoliennes à axe horizontal

Elles 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 à axe vertical

Elles 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.

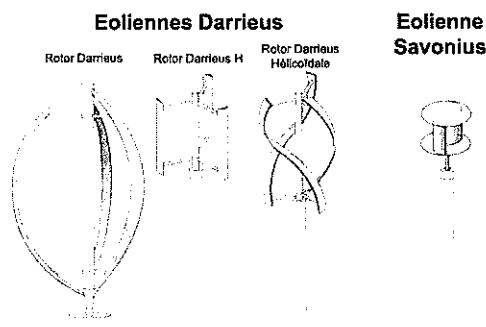
Il existe deux grands types d'éoliennes à axe vertical : le type *Darrieus* et le type *Savonius*. Elles peuvent être installées en toiture de bâtiment et occupent moins de place qu'une éolienne horizontale. En revanche, leur rendement est faible.

Éolienne de type Darrieus :

- Elle peut être installée dans des zones très venteuses, elle peut subir des vents dépassant les 220 km/h.
- 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.
- Démarrage difficile dû au poids du rotor sur le stator.

Éolienne de type Savonius :

- Elle fonctionne même avec un vent faible (contrairement au système Darrieus), quelle que soit sa direction.



Éoliennes de type Darrieus et Savonius



Éolienne à axe vertical, écoquartier de la Marlière (Courcelle-lès-Lens)

Il est possible d'envisager deux types d'applications, une éolienne « indépendante » et raccordée au réseau, ou une éolienne intégrée aux équipements publics.

AVANTAGES DE L'ÉOLIEN

La production d'électricité à partir de la vitesse du vent par l'intermédiaire de petites éoliennes présente des avantages importants :

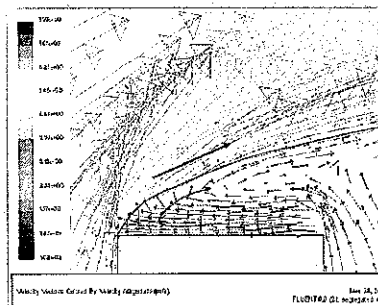
- la ressource d'énergie utilisée est renouvelable, aucune pénurie ou fluctuation des prix n'est à craindre ;
- le processus de production d'électricité n'a aucun impact sur l'environnement (ni rejet polluant, ni déchet, etc.) ;
- ce qui est produit est généralement consommé sur place, ce qui présente un intérêt du point de vue électrique puisque les pertes dans les câbles sont très faibles (contrairement au mode de production décentralisé, ex : centrale nucléaire). Même si l'électricité produite par les installations est injectée sur le réseau, en pratique l'électricité choisit le plus court chemin et est utilisée à l'endroit le plus proche de sa production.

**CONDITIONS A RESPECTER**

Afin d'identifier les conditions nécessaires à une meilleure intégration des éoliennes en milieu urbain et de promouvoir l'émergence de la technologie, le projet européen WINEUR a vu le jour en 2005. Ce projet a permis d'obtenir des premiers éléments de réponse par rapport à cette technologie. Les conclusions que l'on peut tirer en termes de contraintes 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.

Comportement du vent dans un milieu urbain
(Source : DHV)



- Là où les directions de vent dominant convergent, l'utilisation d'éolienne à axe vertical fixe est possible, cependant elle doit être placée de manière à récupérer le vent au-dessus du bâtiment et donc placée pas trop bas.
- Pour sélectionner un site adéquat, la rose des vents doit indiquer une vitesse moyenne de 5 m/s.
- 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. Des turbines à axe vertical adaptées aux flux turbulents peuvent permettre d'éviter cette contrainte de hauteur.

Le site sélectionné doit présenter une productivité énergétique de 200 à 400 kWh/m².an, mais cela peut varier d'un facteur 2 à 5 en fonction du site. Le choix du site est donc particulièrement décisif, mais difficile.

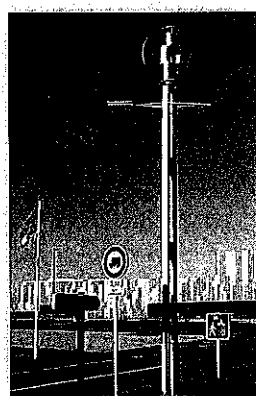
DIMENSIONNEMENT

Il est difficile de déterminer précisément le gisement d'un site sans une étude de vent (mesures) d'au moins une année sur le lieu même pressenti pour l'implantation de l'éolienne.

Une éolienne de type Darrieus H de 4,7 m de diamètre et une hauteur de pôle de 2,5 m (voir photo ci-contre), pourra produire **environ** 15 MWh/an (avec un vent moyen de 6 m/s).



Éolienne Darrieus de 6 kW



Une éolienne de type mixte (Darrieus / Savonius) pour l'éclairage public, de diamètre 1,4 m et d'une hauteur de 1,5 m sera en mesure de produire environ 750 kWh/an.

Éolienne mixte Darrieus / Savonius pour l'alimentation autonome d'un lampadaire – Commune de Bouvron

BATIMENTS CIBLES

Le toit où sera installée l'éolienne doit être bien au-dessus de la hauteur moyenne des constructions environnantes (environ 50%).

ÉLÉMENTS ECONOMIQUES

Il est difficile d'obtenir des données de coûts précises de la part des producteurs. Les informations précisées ci-dessous sont donc des données approximatives. D'autre part, le petit éolien est encore aujourd'hui au stade des balbutiements : les technologies ont une marge de progrès importante et les prix sont encore très élevés. Si cette filière se développe, les prix baisseront avec l'effet d'échelle.

- Coût d'investissement d'une éolienne à axe horizontal : 5 000 à 7 000 €/kW installé
- Coût d'investissement d'une éolienne à axe vertical : 7 000 à 20 000 €/kW installé
- Coût du raccordement électrique : pour des puissances inférieures à 36 kW, environ 1 000 €/kW installé.
- Coût d'exploitation : Au Royaume-Uni, sur la vingtaine de machines installées, les coûts de maintenance annuels sont évalués entre 150 et 500 £/an (soit 190 et 615 €/an). En Hollande, les exploitants ont indiqué qu'il n'y avait pas de coût d'exploitation et que la seule maintenance consistait à changer l'onduleur tous les dix ans (coût d'un onduleur : 1 300 €). D'autre part, un exploitant a indiqué un coût annuel d'exploitation/maintenance de 175 €.

Le coût du kWh produit varie en fonction de la vitesse moyenne du vent considéré. Le coût de revient pour une petite éolienne à axe horizontal est donc de l'ordre de 20 à 35 c€/kWh alors qu'il est de 25 à 80 c€/kWh pour les petites éoliennes à axe vertical.

L'éolienne de type Darrieus H présentée au paragraphe « Dimensionnement » de cette fiche a coûté 47 000 €, soit sur une période de 15 ans, un coût de revient du kWh produit à 28 c€.

ANNEXES**A. LISTE DES FOURNISSEURS LOCAUX DE BOIS ENERGIE**

Nom	Combustible			Ville
	Nature	Granulométrie	Humidité	
Scierie SABY	Connexes de scierie, granulés	NC	NC	COMBRAILLE
Scierie Livra-Bois	Plaquettes forestières	NC	NC	DORE L'EGLISE
Ets Patrie	Plaquettes forestières, connexes de scierie, granulés	NC	15 – 25 %	SAINT HILAIRE LA CROIX
Echalier	Bois de rebut	NC	NC	SAINT-OURS-LES-ROCHES
SARL TFZ	Plaquettes forestières	NC	NC	CHARBONNIER-LES-MINES
EO2	Granulés	6 mm	< 8 %	SAINT-GERMAIN-PRES-HERMENT
Société de Granulés d'Ar lanc	Granulés	6 à 9 mm	< 10 %	ARLANC
ONF Energie	Plaquettes forestières	NC	NC	LEMPDES
Forchez Bois et énergie EURL	Plaquettes forestières	NC	NC	CELLES SUR DUROLLE
UNISYLVA	Plaquettes forestières	NC	NC	LEMPDES

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

TRACE DES RESEAUX DE CHALEUR

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

DENSITE ENERGETIQUE SEUIL

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

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

Finalement, nous retenons la valeur seuil de 1,7 MWhe_f/(m_l.an), correspondant au seuil de faisabilité technique retenu par le Fonds Chaleur (*ef = énergie finale. Voir définition d'énergie finale en annexe C*).

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

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

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

C. 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

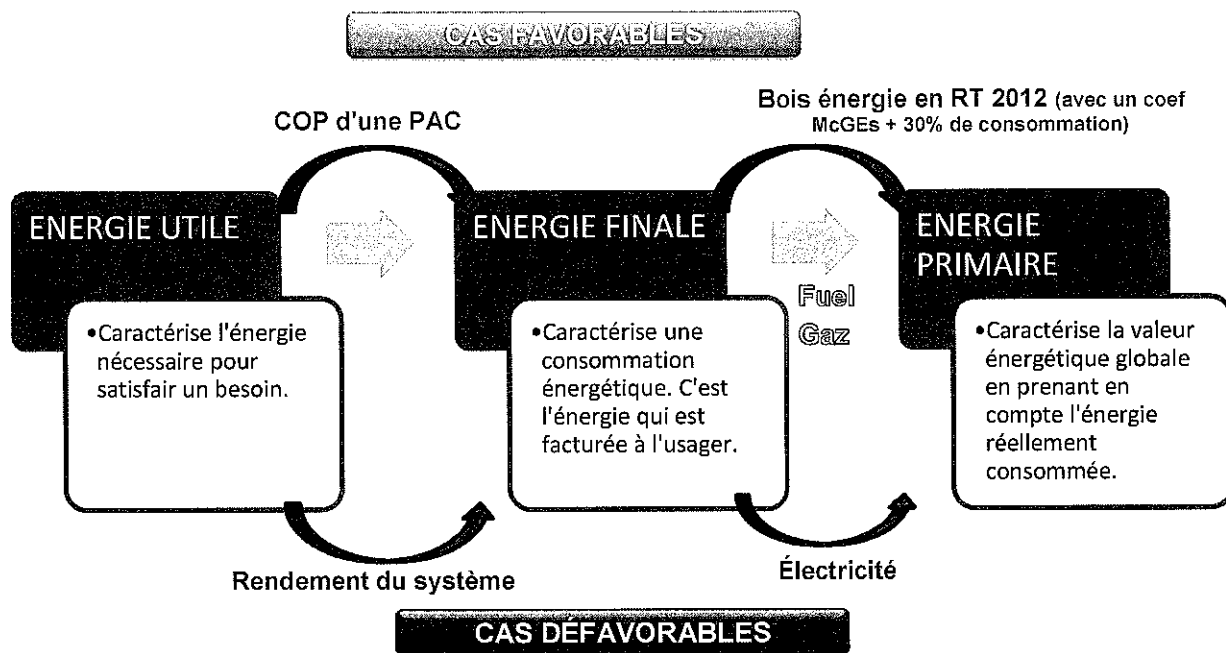
CONVERSION ENERGIE FINALE/ENERGIE PRIMAIRE :

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.

D. 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 m² 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.

Dans le cas de la ZAC, la construction est considérée antérieure à 2020, l'ensemble des bâtiments est considéré comme respectant la RT 2012.

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

METHODOLOGIE

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 C 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 CO₂ est inférieur à 50 grammes de CO₂ par kWh. Ils sont calculés selon les formules décrites en annexe E. Le Bbio, qui exprime la performance de l'enveloppe du bâti ne dépend pas de l'énergie et du système de production choisi.

	Bbio _{max}	Cep _{max}
Commerces	140 kWh _{eu} /m ² SHONRT.an	368 kWh _{ep} /m ² SHONRT.an
Bureaux	77 kWh _{eu} /m ² SHONRT.an	98 kWh _{ep} /m ² SHONRT.an
Ateliers/entrepôts	99 kWh _{eu} /m ² SHONRT.an	182 kWh _{ep} /m ² SHONRT.an

Note : La RT 2012 permet une consommation très importante aux bâtiments commerciaux en leur accordant un Cep_{max} élevé. Toutefois, cette consommation ne sera pas atteinte pour certains bâtiments, et nous prenons en compte dans le calcul des consommations une amélioration minimale du bâti de 20% par rapport au parc actuel afin de présenter es consommations réalistes.

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 m² du parc RT 2005 pour chaque usage précédemment cité et pour 8 typologies de bâtiments résidentiels ou tertiaires. Elles proviennent du CEREN¹⁷ 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.

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 :

¹⁷ Centre d'Études et de Recherches Économiques sur l'Énergie

DONNEES D'ENTREE

Ratio RT 2005 en énergie utile :

	Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage	Climatisation
[Appartement	97 kWh _{th} /m ²	18 kWh _{th} /m ²	12 kWh _{th} /m ²	19 kWh _{th} /m ²	5 kWh _{th} /m ²	4 kWh _{th} /m ²

Seuils réglementaires → Bbio_{max} = 72 kWh_{th}/m².an

Scénario d'approvisionnement → η_{eq} = E_u/E_f

→ Cep_{max} = 70 kWh_{th}/m².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 :

[Appartement 1	Chauffage	93 kWh _{th} /m ²	ECS	18 kWh _{th} /m ²
----------------	-----------	--------------------------------------	-----	--------------------------------------

COMPARAISON AVEC LES SEUILS

→ Bbio = 107 kWh_{th}/m² > Bbio_{max}
→ Cep = 136 kWh_{th}/m² > Cep_{max}

Hypothèses réalistes de réduction des consos :

- 40 % Chauffage
- 40 % ECS

ÉTAPE 2 – REDUCTION DES CONSOMMATIONS

[Appartement 1	Chauffage	56 kWh _{th} /m ²	ECS	11 kWh _{th} /m ²
----------------	-----------	--------------------------------------	-----	--------------------------------------

COMPARAISON AVEC LES SEUILS

→ Bbio = 68 kWh_{th}/m² < Bbio_{max}
→ Cep = 91 kWh_{th}/m² > Cep_{max}

Hypothèses réalistes de réduction des consos :

- 60 % Chauffage
- 40 % ECS

ÉTAPE N – ATTEINTE DES PERFORMANCES REGLEMENTAIRES

[Appartement 1	Chauffage	37 kWh _{th} /m ²	ECS	11 kWh _{th} /m ²
----------------	-----------	--------------------------------------	-----	--------------------------------------

COMPARAISON AVEC LES SEUILS

→ Bbio = 42 kWh_{th}/m² < Bbio_{max}
→ Cep = 56 kWh_{th}/m² < Cep_{max}

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).

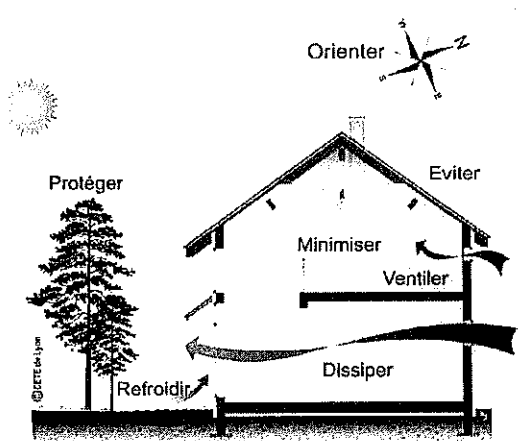
Les hypothèses prises sont tirées de la littérature – CSTB, ADEME, Effinergie, Enertech – et des retours d'expérience de bâtiments neufs ou rénovés.

- 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_{ed}/m²).
- 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 réfléchie 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 CO₂ 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.

RT2012 - Scénario RDC 50g CO2/kWh							
	Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage	Climatisation	Total
Commerces	74 kWhel/m ²	7 kWhel/m ²	5 kWhel/m ²	36 kWhel/m ²	36 kWhel/m ²	3 kWhel/m ²	162 kWhel/m ²
Bureaux	29 kWhel/m ²	4 kWhel/m ²	4 kWhel/m ²	58 kWhel/m ²	16 kWhel/m ²	5 kWhel/m ²	116 kWhel/m ²
Ateliers/entrepôts	83 kWhel/m ²	10 kWhel/m ²	7 kWhel/m ²	96 kWhel/m ²	21 kWhel/m ²	3 kWhel/m ²	219 kWhel/m ²

RT2012 - Scénario RDC 50g CO2/kWh							
	Chauffage	ECS	Cuisson	Elec spé	Eclairage	Climatisation	Total
Commerces	30 W/m ²	7 W/m ²	14 W/m ²	5 W/m ²	6 W/m ²	4 W/m ²	66 W/m ²
Bureaux	12 W/m ²	3 W/m ²	12 W/m ²	8 W/m ²	6 W/m ²	7 W/m ²	48 W/m ²
Ateliers/entrepôts	33 W/m ²	9 W/m ²	21 W/m ²	14 W/m ²	6 W/m ²	6 W/m ²	88 W/m ²

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

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**.

Cette exigence peut se traduire comme suit :

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

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

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

Avec :

- $B_{bio_{maxmoyen}}$: valeur moyenne du $B_{bio_{max}}$ 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/(m².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 CO₂.

Cette exigence impose, en plus de l'optimisation du bâti exprimée par le B_{bio} , 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 :

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

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_{csurf} : 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_{ep}/(m².an) est autorisée** pour les bâtiments dont le permis de construire est déposé avant le **31 décembre 2014**.

Cela se traduit comme suit :

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

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.

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

e) Les éléments de modulation*Catégories CE1 et CE2*

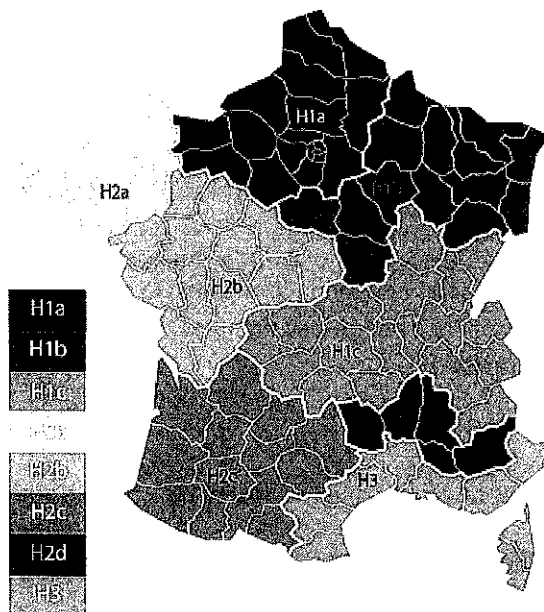
En général, un local est de catégorie CE1. Certains locaux du fait de leur usage et/ou de leur exposition au bruit combiné(s) à la contrainte climatique sont de catégorie CE2, munis d'un système de refroidissement. Par exemple :

- 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}

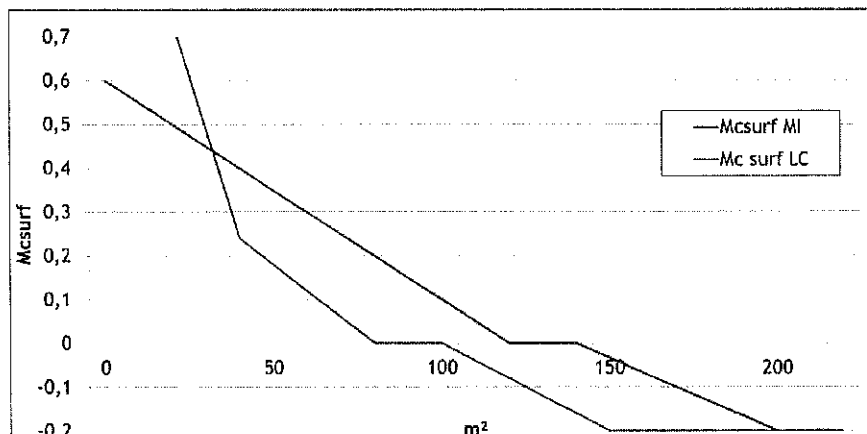
Ces coefficients tiennent compte de l'influence de la position géographique sur la consommation énergétique d'un bâtiment. Un bâtiment au nord de la France sera donc autorisé à consommer plus qu'un bâtiment similaire au sud.

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.

Pour les autres typologies de bâtiments, les coefficients de modulation selon la taille sont pris égaux à 0.

M_{CGES}

Le coefficient M_{CGES} tend à favoriser les énergies les moins émettrices de CO₂ 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 CO₂ 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 ₂	0,3	0,2	0,1	0
Commerce raccordé à un réseau de chaleur dont le contenu CO ₂	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_{ep}/(m².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%.