



Lycée de Cournonterral

Emprise élargie Lycée / Voirie / Gymnase

Etude sur le potentiel de développement
des énergies renouvelables

Article L. 128.4 du Code de l'Urbanisme

AGENCE DE MONTPELLIER

H3C-énergies

650 RUE LOUIS LEPINE

34000 MONTPELLIER

AUTRES AGENCES

LYON

MEYLAN

RENNES

PARIS

www.h3c-energies.fr

Le sens de la performance énergétique



H3C
ENERGIES

Table des matières

1.	Synthèse non technique de l'étude	5
2.	Les orientations du projet liées à l'énergie	8
3.	Préambule : Principe et méthode de l'étude	9
4.	Des engagements internationaux à la réglementation des documents d'urbanisme	10
4.1.	Processus de lutte contre le réchauffement climatique.....	10
4.1.1.	<i>Processus international</i>	10
4.1.2.	<i>Processus européen et national</i>	10
4.2.	Des engagements internationaux aux PLUi puis permis d'aménager ou construire.	11
4.3.	Contexte réglementaire	12
4.3.1.	<i>La RT2012</i>	12
4.3.2.	<i>La Réglementation Energétique et Environnementale</i>	13
4.4.	Contexte local	13
4.4.1.	<i>La politique énergie climat du territoire Occitan</i>	14
4.4.2.	<i>Portrait énergétique du territoire</i>	15
5.	Présentation de la zone d'étude	19
5.1.	Positionnement géographique	19
5.2.	Périmètre d'étude.....	20
5.3.	Topographie	21
5.4.	Végétation et bâti existant.....	22
5.5.	Programmation et schéma d'aménagement étudiée.....	22
6.	Phase 1 : Potentiel de mobilisation des énergies renouvelables	23
6.1.	Energies fossiles disponibles	23
6.2.	Les énergies renouvelables et de récupération	24
6.2.1.	<i>Inventaire des énergies renouvelables disponibles et pertinence sur le projet</i>	24
6.2.2.	<i>L'énergie solaire</i>	25
6.2.3.	<i>L'énergie bois</i>	27
6.2.4.	<i>L'énergie éolienne (production d'électricité)</i>	30
6.2.5.	<i>La géothermie (production de chaleur et d'électricité)</i>	34
6.2.6.	<i>La récupération d'énergie sur les eaux usées</i>	37
6.2.7.	<i>Application</i>	38
6.3.	Innovations liées à la production d'électricité	39
6.3.1.	<i>L'autoconsommation</i>	39
6.3.2.	<i>Les smartgrid</i>	40
6.4.	Synthèse des énergies renouvelables mobilisables sur site.....	41
7.	Phase 2 : Détermination des consommations d'énergie de la zone	44
7.1.	Usages énergétiques attendus	44
7.2.	Les usages liés aux bâtiments.....	44
7.2.1.	<i>Cas particulier de l'électricité domestique</i> :	45
7.3.	Les autres usages.....	45
7.3.1.	<i>L'éclairage public</i>	45
7.3.2.	<i>Les transports</i>	45
7.3.3.	<i>L'énergie grise</i>	45
7.4.	Estimations des besoins d'énergie des bâtiments de logements collectifs en fin d'opération	46
7.4.1.	<i>Définition des niveaux de performance énergétique par typologie de bâtiment</i>	46
7.5.	Hypothèses de calcul.....	46
7.6.	Calcul des besoins énergétiques de l'ilot en fin d'opération	47
8.	Phase 3 : Taux de Couverture des besoins de la zone par les ENR	49
8.1.	Production de chaleur et/ou d'électricité par énergie solaire.....	49
8.2.	Production de chaleur par géothermie	50
8.3.	Production de chaleur par Aérothermie	50
8.4.	Production de chaleur par Bois énergie	50

8.5.	Synthèse	50
9.	Phase 4 : Etude de l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables	52
9.1.	Comparaison des consommations en énergie finale	53
9.2.	Comparaison des coûts de fonctionnement actualisés sur 20 ans	54
9.3.	Comparaison des émissions de gaz à effet de serre	58
9.4.	Synthèse de l'analyse des scénarios d'approvisionnement en énergie	58
10.	Phase 5 : Etude d'opportunité de création d'un réseau de chaleur alimenté par les ENR	60
10.1.	Etude d'opportunité d'un réseau de chaleur sur le secteur	60
10.2.	Notion de densité énergétique pour un réseau de chaleur	61
10.2.1.	<i>Hypothèses de consommations énergétiques considérées</i>	<i>61</i>
10.3.	Etude d'opportunité	61
10.3.1.	<i>Analyse qualitative</i>	<i>61</i>
10.3.2.	<i>Conclusion :</i>	<i>62</i>
11.	Phase 6 : Pistes de mesures compensatoires	63
11.1.	Principe de la compensation carbone	63
11.2.	Compensation carbone volontaire	63
11.3.	Compensation carbone par des actions locales	63
11.4.	Proposition de mesures compensatoires :	64
11.4.1.	<i>Stockage de carbone : plantation de biomasse</i>	<i>64</i>
12.	L'éclairage public	66
12.1.	Rôles de l'éclairage public	66
12.2.	Enjeux pour un projet d'aménagement	66
12.3.	Quelques préconisations	67
12.4.	Consommation énergétique attendue pour l'éclairage public	69
13.	1ère approche sur les transports et l'énergie grise des matériaux	70
13.1.	Transports	70
13.2.	Energie grise des matériaux	71
13.2.1.	<i>Matériaux de voirie</i>	<i>71</i>
13.2.2.	<i>Matériaux de construction</i>	<i>71</i>
14.	Synthèse des avantages et contraintes des énergies renouvelables étudiées	73
15.	ANNEXES : FICHES TECHNIQUES sur les énergies renouvelables	75
15.1.	FICHE Energie solaire généralités	75
15.2.	FICHE Energie solaire thermique	81
15.2.1.	<i>Rappel sur le solaire thermique</i>	<i>81</i>
15.2.2.	<i>Types d'utilisation</i>	<i>81</i>
15.2.3.	<i>Les schémas possibles et ceux qu'il convient d'éviter absolument</i>	<i>82</i>
15.2.4.	<i>Préconisations</i>	<i>82</i>
15.3.	FICHE Energie solaire photovoltaïque	83
15.3.1.	<i>Membranes d'étanchéité photovoltaïques</i>	<i>83</i>
15.3.2.	<i>Panneaux de silicium</i>	<i>83</i>
15.4.	FICHE Pompes à chaleur	84
15.5.	FICHE Energie éolienne	85
15.5.1.	<i>Présentation</i>	<i>85</i>
15.5.2.	<i>Grand éolien</i>	<i>85</i>
15.5.3.	<i>Petit éolien</i>	<i>85</i>
15.6.	FICHE Géothermie	88
15.6.1.	LA GEOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE (TEMPERATURE INFERIEURE A 30°C)	88
15.6.2.	La géothermie basse énergie (30 à 90°C)	88
15.6.3.	La géothermie moyenne énergie (90 à 150°C)	88
15.6.4.	La géothermie haute énergie (température supérieure à 150°C)	88
15.7.	FICHE : Récupération d'énergie sur les eaux usées	91
15.8.	FICHE Réglementation pour l'installation d'une petite centrale hydroélectrique	92
15.8.1.	<i>Droit d'eau</i>	<i>92</i>
15.8.2.	<i>Droit de l'environnement</i>	<i>93</i>
15.8.3.	<i>Enquête publique</i>	<i>93</i>
15.8.4.	<i>Raccordement au réseau</i>	<i>93</i>

15.9.	FICHE Bois énergie : solutions individuelles	94
15.10.	FICHE Bois énergie : solutions collectives.....	95
15.10.1.	<i>Principe de fonctionnement des chaudières automatiques</i>	95
15.10.2.	<i>Combustible</i>	95
15.10.3.	Gamme de puissance	97
15.10.4.	Chaudières bois et qualité de l'air	97
	Principe d'implantation du silo	98
	Silo pour bois déchiqueté	98
	Silo pour granulés	99
15.11.	FICHE réseaux de chaleur.....	100
15.11.1.	<i>Définition</i>	100
15.11.2.	<i>Bouquet énergétique</i>	100
15.11.3.	<i>Valorisation des réseaux de chaleur ENR dans la RT 2012</i>	101

1. Synthèse non technique de l'étude

Cette étude a permis de déterminer les sources d'énergies renouvelables pouvant être mobilisées sur la future parcelle du lycée de Cournonterral, du gymnase, ainsi que sur les voiries aux alentours.

Le tableau suivant présente une synthèse du potentiel de développement en énergies renouvelables :

Energie	Potentiel sur site	Conditions de mobilisation
Bois	++	Prévoir stockage et approvisionnement Filière bois énergie régionale assez développée Attention à la proximité du littoral où la qualité du bois peut être affectée, et donc le rendement et la durabilité de l'installation
Solaire passif	+++	Orientation Sud des bâtiments enseignement du lycée, internat et gymnase Conception bioclimatique (maximiser les apports solaires en hiver, s'en protéger en été)
Solaire thermique	+++	ECS solaire thermique possible principalement en toitures terrasses. Orientation sud des toitures terrasses favorables. Réaliser un modèle 3D pour évaluer précisément l'ensoleillement et notamment les ombres portées des bâtiments. Adéquation des besoins thermiques sur l'année (en l'occurrence : cuisine/internat/gymnase en hiver, logements de fonction en été)
Solaire photovoltaïque	+++	Panneaux photovoltaïques : prévoir une étude pour évaluer la faisabilité technico-économique et les possibilités de positionnement (en toiture, en brise-soleil, en ombrière de parking, sur des candélabres, ...) Orientation Sud des toitures ou toits terrasses
Géothermie très basse énergie	++	La réalisation d'un forage test et d'une étude de faisabilité est indispensable pour confirmer le potentiel et déterminer les modalités d'exploitation.
Aérothermie	+++	Réalisation d'une étude en coût global et étude des différentes variantes avec lesquelles l'aérothermie peut être associé pour plus d'efficacité.
Chaleur fatale des eaux usées	+++	-il faudrait que le bâtiment soit de taille significative + évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes -il faudrait que la valorisation soit techniquement possible en vue de l'usage sur site -il faudrait que la production de l'ECS soit collective
Petit éolien	+	Etude précise des vents à faire en phase réalisation et après la construction des bâtiments

➔ L'énergie solaire passive et active, la géothermie, l'énergie bois, et la récupération d'énergie sur les eaux usées ou sur les process présentent un potentiel de développement satisfaisant.

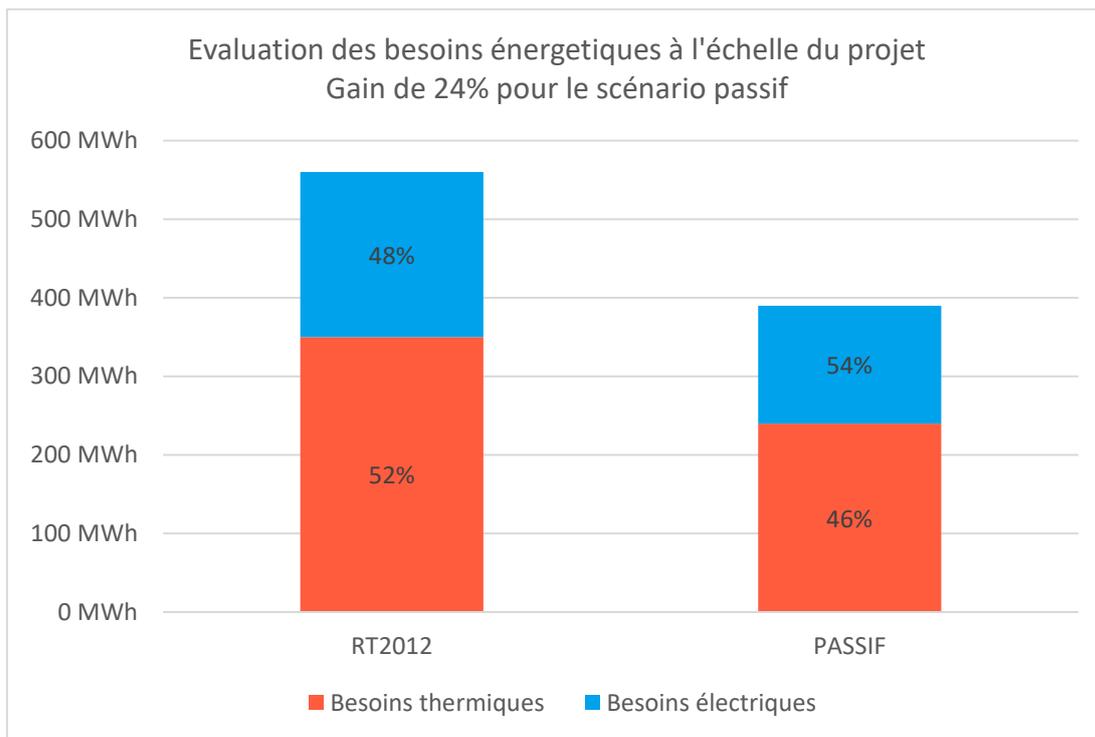
Les hypothèses prises en compte dans l'étude sont les suivantes :

Programmation :

Groupe	Typologie	Partie du site	Su (m ²)	Nombre	% surface totale
Logement	Collectif	Internat	1470	1	10%
Logement	Logements semi-collectifs	Logements de fonction	1280	1 ensemble	9%
Autre	Ecole	Externat lycée	8650	1	61%
Autre	Centre sportif	Gymnase	2765	1	20%

Groupe	Typologie	Partie du site	Su (ml)	Nombre	% surface totale
Autres	Voirie	Voiries	1939	1 ensemble	100%

Besoins des bâtiments du site :



Taux de couverture par les ENR

ENR		Taux de couverture moyen par les EnR RT2012				Taux de couverture moyen par les EnR PASSIF			
Technologie	Caractéristiques	Productible MWh/an	Chaleur	Electricité	Total Energie	Productible	Chaleur	Electricité	Total Energie
Panneaux Solaire thermique	Inclinaison 30° Orientation: S-E	79	22%	0%	12%	51	18%	0%	8%
Panneau Solaire photovoltaïque	Inclinaison 30°, plein Sud Sans éclairage public	554	0%	158%	76%	554	0%	196%	107%
Panneau Solaire photovoltaïque	Inclinaison 30°, plein Sud Avec éclairage public	554	0%	148%	74%	554	0%	181%	102%
Chaufferie bois granulés		282	80%	0%	41%	190	80%	0%	37%
PAC géothermique	COP 3,5	271	77%	0%	40%	183	77%	0%	35%
PAC eau	COP 2,7	215	63%	0%	33%	176	74%	0%	34%
Récupération d'énergie eaux	en pied d'immeuble 30% d'énergie récupérée	39	11%	0%	6%	25	11%	0%	5%

A noter qu'aucune source d'énergie renouvelable ne permet à elle seule de couvrir la consommation d'électricité totale des bâtiments.

La création d'une zone à énergie positive au sens [énergie consommée < énergie produite] ne pourrait donc se faire qu'à partir d'un « mix énergétique » combinant des énergies renouvelables qui produisent de la chaleur et d'autres de l'électricité et en réduisant de manière drastique les consommations des bâtiments constitutives de la zone du lycée de Cournonterral.

Plusieurs scénarios d'approvisionnement en énergie mobilisant les énergies renouvelables ont été étudiés : le tableau suivant propose une synthèse qualitative des résultats obtenus :

	Faible consommation en énergie finale	Coût global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Taux d'utilisation d'ENR
0- Gaz				
1- Aérothermie				
2- Géothermie				
3- Biomasse				

LEGENDE Scénario

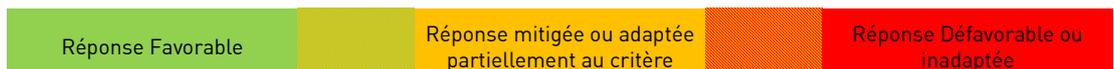


Figure 1 : Evaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critères environnementaux et économiques

Ainsi, les Scénarios 3 (bois granulés) et 2 (géothermie) présentent une réponse aux critères d'analyse plus adaptée, mais aucun scénario ne se détache particulièrement par rapport aux autres.

Le recours aux énergies renouvelables permettrait de réduire certains besoins énergétiques mais surtout les émissions de gaz à effet de serre. Le recours au solaire passif (bio climatisme), au solaire actif (production de chaleur ou d'électricité), à la géothermie, à la biomasse sont donc des solutions à privilégier.

Le tableau suivant présente la synthèse des impacts estimés pour les différents types de consommations énergétiques :

	Consommation énergétique annuelle estimée (MWh/an)		Emissions min de CO2 (T/an)		Surface forestière à planter (ha)		Surface forestière à planter (multiple de la surface de la zone)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Bâtiments	354	704	24	100	1	5	0	1
Trajets D/T	251		65		4		1	
Eclairage	11	23,5	4	2	0	0	0	0
TOTAL	616	978	93	166	5	9	1	1

Figure 2: Synthèse des impacts estimés d'un point de vue énergétique et effet de serre

L'écart de consommation entre un bâtiment performant (enveloppe + systèmes) et un bâtiment plus classique peut aller jusqu'à 70%.

La compensation carbone des émissions induites par le site (consommation directe d'énergie pour les bâtiments et l'éclairage public, émission de CO2 induits) nécessiterait le boisement d'une surface équivalente à celle du site.

Une troisième dimension qui peut s'ajouter également à ces 2 types de consommations serait les déplacements domicile/travail dont l'impact énergie et carbone peut être du même ordre de grandeur que ceux des bâtiments. L'intégration d'alternatives à la voiture individuelle serait appréciable dans le projet du lycée de Cournonterral.

2. Les orientations du projet liées à l'énergie

A ce stade de l'opération, les orientations principales en termes de programmation et d'aménagement sont définies.

La zone sera équipée principalement d'un gymnase, d'une zone de stationnement bus, d'un lycée (comportant un internat, un restaurant/ cuisine et des logements de fonction), ainsi que l'ensemble des voiries déjà aménagées.

En guise de précision, le projet de construction du lycée est actuellement en phase APD, et les choix techniques en termes de production thermique, électrique, et d'énergies renouvelables sont déjà faits.

- **Optimisation des projets vis-à-vis des apports solaires :**

Le plan d'aménagement ainsi que les emprises des projets ont été conçus de manière à maximiser l'orientation SUD ($\pm 10^\circ$) des bâtiments. Les implantations seront donc très favorables à une éventuelle implantation d'énergies renouvelables de type photovoltaïque ou solaire thermique.

- **Réaliser des bâtiments économes en énergies**

Les Maîtrises d'ouvrage engagées dans la zone d'aménagement, à savoir la Région Occitanie, la ville de Cournonterral et la Métropole (M3M) s'engagent à accélérer la transition énergétique dans la Région, en favorisant la création d'îlots passifs et en imposant la mise en place d'énergies renouvelables pour les établissements publics, en l'occurrence, le lycée et le gymnase.

En guise d'anticipation de la nouvelle réglementation RE2020 qui entrera en vigueur en 2022, les Maîtres d'ouvrage poussent d'ores-et-déjà les réflexions afin de concevoir et construire des bâtiments passifs et même producteurs d'énergie, en s'appuyant notamment sur l'expérimentation E+C- et sur les bonnes pratiques de réduction de l'empreinte carbone, notamment sur le volet matériaux.

- **Energies renouvelables**

Les Maîtres d'ouvrage souhaitent imposer le recours aux énergies renouvelables aux bâtiments publics soumis à la RT 2012 en fixant un seuil (variable en fonction du type de bâtiment). Dans un premier temps le travail est réalisé sur le projet de construction du lycée de Cournonterral où plusieurs types d'énergies renouvelables sont déjà prévues : la géothermie, le photovoltaïque et la récupération de chaleur sur les eaux grises de l'internat.

Afin de développer l'énergie renouvelable locale et notamment l'énergie électrique renouvelable, les Maîtres d'ouvrage souhaitent étudier le développement de l'autoconsommation collective, au niveau de toute la zone. Des centrales de production d'électricité renouvelable (principalement des panneaux solaires photovoltaïques) peuvent être installées au niveau des bâtiments mais exploitées ailleurs (éclairage des voiries aux alentours par exemple, ou éclairage de la zone de stationnement des Bus).

- **Limiter l'impact des transports**

Le projet facilite l'usage des transports en commun et les modes de déplacements doux. Une aire de bus est déjà prévue dans le plan d'aménagement, à 2 pas du lycée et du gymnase, favorisant ainsi le déplacement des élèves en mode doux.

De plus, le projet du lycée de Cournonterral intègre un maillage de liaisons douces piétons et/ou vélos en connexion avec les futurs quartiers voisins et les équipements publics (le gymnase en l'occurrence).

- **Eclairage public**

L'Eclairage est prévu d'être majoritaire en LED avec pilotage spécifique (allumage semi-permanent, abaissement de puissance...). La réflexion peut être menée au fur et à mesure de l'avancement de l'aménagement de la zone. Une étude d'éclairage public suivant la norme EN 13 201 est souhaitable afin d'optimiser le confort, la qualité et les consommations liées à l'éclairage.

- **Impact carbone des matériaux et recours au biosourcé**

D'après les projets de construction en cours (le lycée et bientôt le gymnase), les Maîtres d'ouvrage souhaitent :

- Favoriser le réemploi/ recyclage pour les travaux VRD (soit en conseillant soit en imposant un taux minimum de réemploi)
- Recommander l'usage de matériaux biosourcés et à faible énergie grise pour les constructions.

3. Préambule : Principe et méthode de l'étude

La première loi issue du Grenelle de l'Environnement adoptée par l'Assemblée nationale le 29 juillet 2009 définit 13 domaines d'action visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Parmi ces domaines d'action, le recours aux énergies renouvelables est particulièrement mis en avant.

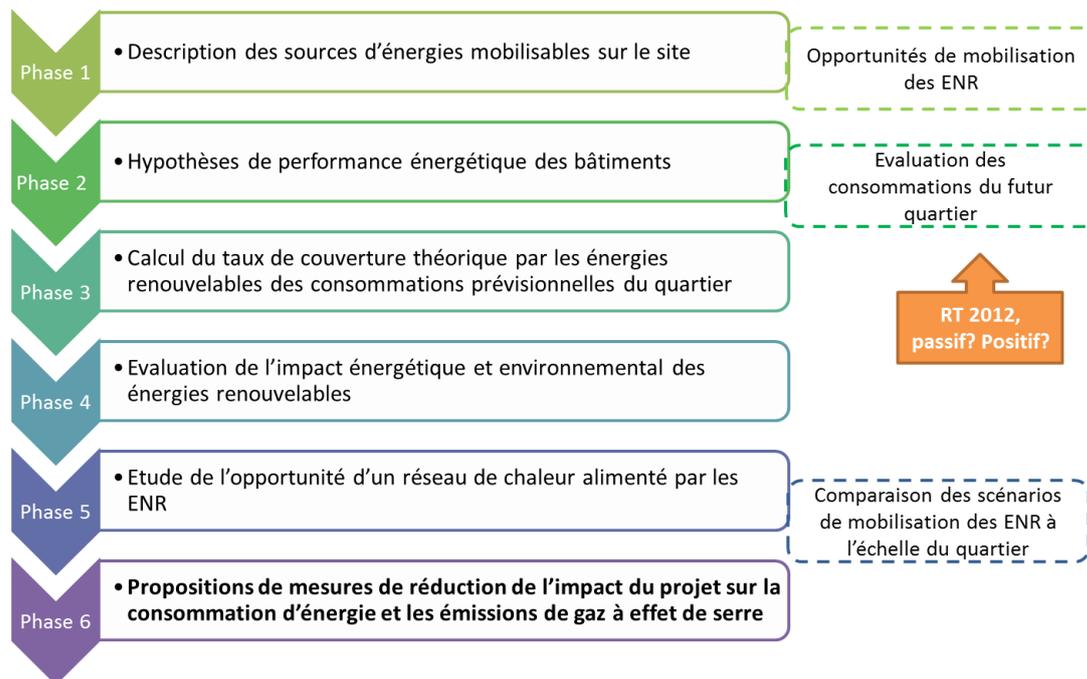
L'article L-300-1 du Code de l'Urbanisme précise que : « Toute action ou opération d'aménagement faisant l'objet d'une évaluation environnementale doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération. »

Cette étude vise à dresser un état des lieux des énergies renouvelables qui pourraient être utilisées sur le projet et à définir notamment les possibilités d'implantation de systèmes centralisés permettant de fournir l'énergie nécessaire aux bâtiments à travers des réseaux de chaleur par exemple.

Elle vise également à définir la part relative à l'énergie dans l'impact environnemental global du projet.

L'évolution culturelle et réglementaire actuelle impose en effet la réalisation de bâtiments de plus en plus performants (approche bioclimatique, meilleure isolation, utilisation d'équipements performants et d'énergies renouvelables) afin de limiter globalement l'impact du secteur du bâtiment sur l'appauvrissement des ressources fossiles et sur le dérèglement climatique.

Après avoir rappelé le contexte géopolitique et réglementaire relatif aux politiques publiques liées à l'énergie et présenté succinctement le projet d'aménagement, nous étudierons la mobilisation des énergies renouvelables selon les phases d'études suivantes :



Des rappels techniques sur les énergies renouvelables étudiées sont fournis en annexe, Article 17 de la présente étude.

4. Des engagements internationaux à la réglementation des documents d'urbanisme.

Les démarches visant à encourager le développement des énergies renouvelables répondent à deux objectifs principaux à l'échelle mondiale :

- Lutter contre le réchauffement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre issues de ressources non renouvelables ;
- Tendre vers une autonomie énergétique qui se passerait des énergies fossiles.

Imposer une étude de « potentiel de développement des énergies renouvelables » pour toute opération d'aménagement faisant l'objet d'une étude d'impact prend place dans ces processus globaux : c'est une petite pierre qui, projet par projet, et couplée à d'autres évolutions des réglementations, devrait permettre d'améliorer l'introduction des énergies renouvelables à l'échelle des territoires.

Nous tentons ici de rappeler quelques processus qui permettent de prendre de la hauteur et de comprendre dans quel contexte géopolitique cette réflexion s'inscrit.

4.1. Processus de lutte contre le réchauffement climatique

4.1.1. Processus international

Le **Protocole de Kyoto**, ratifié en 1997 est en vigueur depuis 2005. Il est arrivé à échéance en 2012 et avait pour objectif de stabiliser les émissions de CO₂ au niveau de celles de 1990 à l'horizon 2010.

En décembre 2009 s'est tenue la **Conférence internationale de Copenhague** : 15^{ème} conférence annuelle des représentants des pays ayant ratifié la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique et 5^{ème} rencontre des États parties au protocole de Kyoto, elle devait être l'occasion de renégocier un accord international sur le climat prenant la suite du protocole de Kyoto. Elle a été considérée comme un échec partiel par beaucoup, car, bien qu'ayant abouti à une déclaration politique commune, elle n'a pas défini de cadre contraignant.

En 2015, la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques s'est tenue à **Paris**. Cette conférence marque une **étape décisive** dans la négociation du futur accord international qui entrera en vigueur en 2020.

Elle a abouti, le **12 décembre 2015**, à un accord historique et universel pour le climat, approuvé à l'unanimité par les 196 délégations (195 États + l'Union Européenne), dont la signature est prévue le **22 Avril 2016**. L'Accord de Paris se fixe de maintenir l'augmentation de la température mondiale bien en **dessous de 2 degrés**, et, pour la première fois, de **tendre vers un maximum de 1,5 degré** afin de permettre la sauvegarde des États insulaires (les plus menacés par la montée des eaux), en prévoyant une clause de révision des engagements. Dans ce cadre et conformément aux recommandations du GIEC, la France s'est engagée, avec la **Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)** à diviser par 4 ses émissions GES à l'horizon 2050 par rapport à 1990 (le Facteur 4).

4.1.2. Processus européen et national

Dans le cadre des accords de Kyoto, la communauté européenne a fixé dans le paquet énergie climat dit : **“3 X 20 en 2020”** les objectifs suivants :

- Réduire de 20 % les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2020 par rapport à 1990 ;
- Porter à 20 % la **part d'énergies renouvelables** dans la consommation en Union Européenne en 2020 ;
- Baisser de 20 % la consommation d'énergie par rapport aux projections pour 2020.

En France, la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 ou loi sur la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LETCV) fixe par 167 mesures **réglementaires** (ordonnances et décrets d'application), les grands objectifs et le calendrier de la politique énergétique nationale d'ici à 2050 dont les grandes lignes sont ci-dessous :

- **Réduire de 50% de la part du nucléaire** dans la production totale d'électricité à l'horizon 2025,
- **Réduire de 50% la consommation énergétique finale** entre 2012 et 2050,

- Réduire de 40% des émissions de gaz à effet de serre sur la période 1990-2030,
- Porter à 32% la part d'énergies renouvelables dans la consommation d'ici 2030 ans.

4.2. Des engagements internationaux aux PLUi puis permis d'aménager ou construire.

La LTECV établit la stratégie nationale bas carbone (SNBC) qui décrit la politique d'atténuation du changement climatique comme celle de réduction des émissions de GES et d'augmentation de leur potentiel de séquestration. Les objectifs de la LETCV sont déclinés localement dans les documents de planification de nature stratégique ou réglementaires.

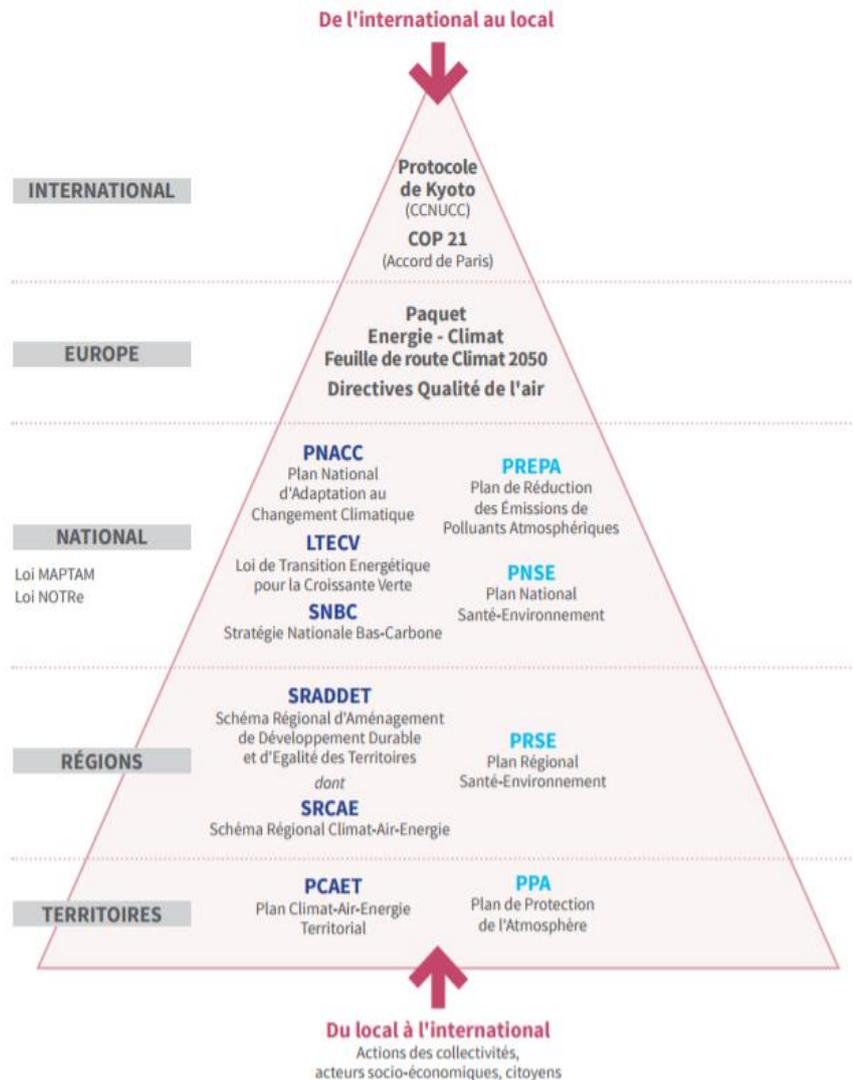


Figure 3: Des engagements internationaux aux objectifs locaux (source ADEME www.territoires-climat.ademe.fr)

Le SRADDET – Occitanie 2040 qui remplace le Schéma Régional Climat Air Energie régional SRCAE ou Plan Climat Air Energie Territorial PCAET, a été arrêté par l'assemblée plénière le 19 décembre 2019, après approbation par le Conseil régional lors de sa session des 17 et 18 octobre 2019.

Le SRADDET s'agit d'un document stratégique de planification qui détermine les grandes priorités régionales en matière d'aménagement du territoire à moyen et long termes. Il définit aux horizons 2030, 2040 et 2050 les orientations et les objectifs régionaux pour maîtriser la demande en énergie, réduire les émissions de gaz à effet de serre, améliorer la qualité de l'air, développer les énergies renouvelables et s'adapter au changement climatique.

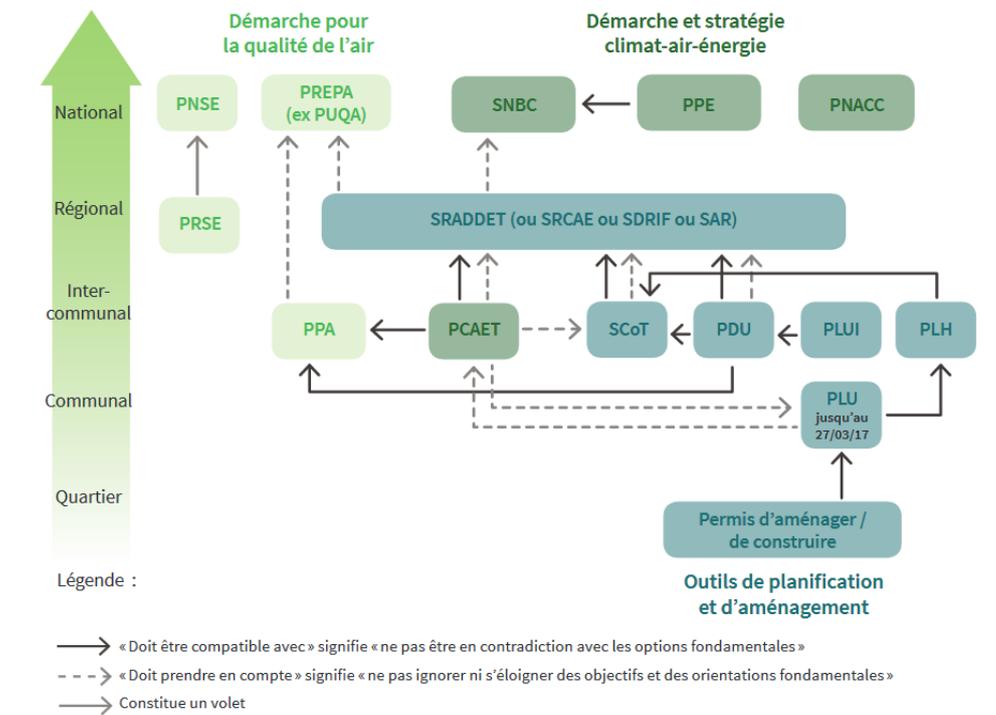


Figure 4: Articulation juridique des documents de planification

Le permis de construire doit être compatible avec le PLU ou PLUi le quel devant prendre en compte le PCAET ou à default les documents de planification supérieurs.

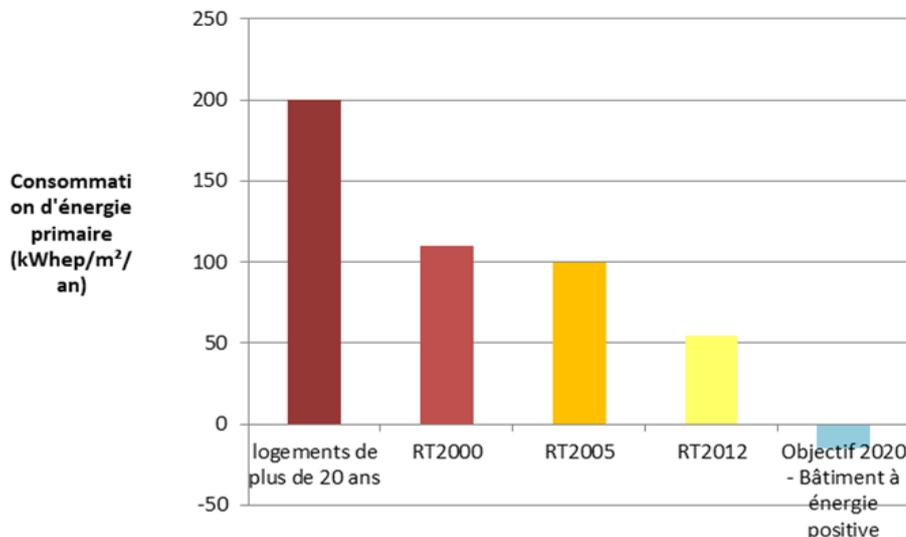
4.3. Contexte réglementaire

4.3.1. La RT2012

Le Grenelle de l'environnement a accéléré l'évolution des réglementations thermiques, l'objectif annoncé étant d'atteindre le niveau de performance de bâtiments passifs voir à énergie positive à horizon 2020.

Cette évolution est rappelée sur le schéma ci-dessous :

Evolution des performances exigées par les réglementations thermiques (hors usages spécifiques)



L'objectif fixé est la RT 2012 : les besoins énergétiques couvrant le chauffage et le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire, la ventilation, l'éclairage et les auxiliaires devront être inférieurs à 40 kWh/m²SHONRT/an en énergie primaire pour une maison individuelle située en zone H3.

Afin de satisfaire cette obligation, les constructions doivent profiter au maximum des apports solaires et bénéficier d'une forte isolation thermique et d'une ventilation adaptée.

La RT 2012 introduit des exigences minimales traduisant des volontés publiques fortes : **obligation de recours aux énergies renouvelables** en habitat individuel, obligation de respecter le seuil minimum de surface vitrée égale à 1/6 de la surface habitable, obligation de traitement des ponts thermiques (fuites de chaleur), obligation de traitement de la perméabilité à l'air des logements neufs, etc.

De plus, le décret 2013-979 du 30 octobre 2013 rend obligatoire la réalisation d'une étude d'approvisionnement en énergie pour tous les bâtiments dont la SHON est supérieure à 50m².

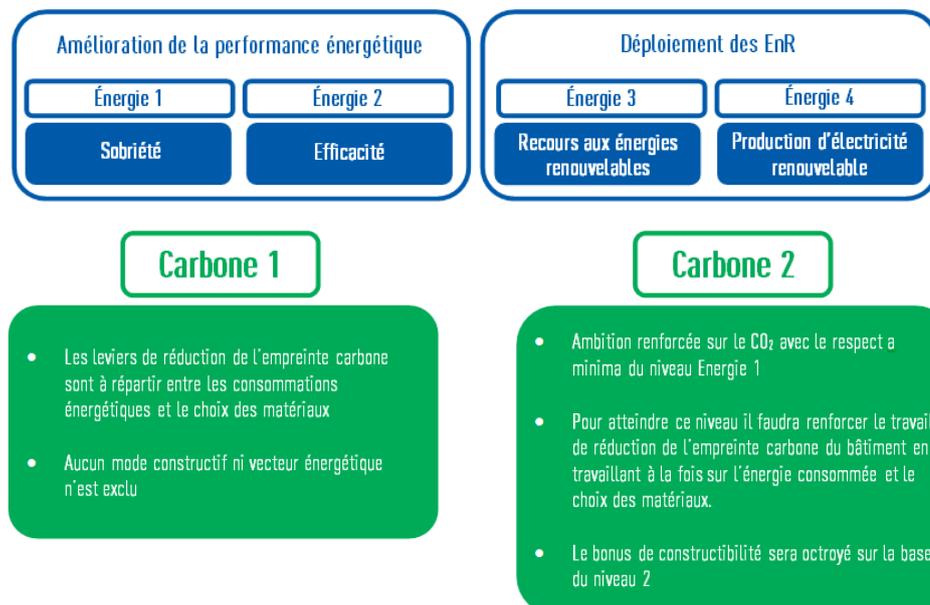
4.3.2. La Réglementation Energétique et Environnementale 2020

A l'horizon **2022**, la loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte fixe l'objectif d'une Réglementation Energétique et Environnementale ambitieuse pour les bâtiments neufs qui prévoit, via l'expérimentation du label Energie Carbone E+C-, l'ajout d'exigences sur :



- Le calcul des émissions de gaz à effet de serre,
- Un calcul des consommations d'énergie et de ressources sur l'ensemble du cycle de vie,
- L'incitation à recourir aux énergies renouvelables pour couvrir et compenser les besoins des bâtiments et ainsi la généralisation des bâtiments à énergie positive.

Le label **E+C** préfigure la future réglementation. Il est composé conjointement d'un niveau **Énergie** (évalué par l'indicateur « bilan BEPOS ») et d'un niveau **Carbone** (évalué par l'indicateur « Carbone ») :



4.4. Contexte local

La Région Occitanie est l'une des régions les plus avancées dans le domaine des énergies renouvelables. Région riche en bois, en soleil et en vent, faisant d'elle un territoire très favorable au développement et l'exploitation des filières de production d'énergie gratuite.

En 2015, les EnR représentent déjà près de 30% de la production régionale d'énergie d'Occitanie, couvrant ainsi 21% de la consommation d'énergie régionale (source : ADEME Occitanie). Dans les quinze dernières années, nous notons un fort développement des filières photovoltaïque et éolienne, bien que la production d'EnR dans la Région reste dominée par les filières traditionnelles, à savoir l'hydraulique et le bois énergie.

La région possède donc de forts potentiels afin de répondre aux besoins en énergie des territoires. Elle est par ailleurs assez indépendante des territoires limitrophes producteurs d'énergie thermique et d'électricité.

4.4.1. La politique énergie climat du territoire Occitan

➤ *Le Schéma Régional Climat Air Energie Occitanie - 2040*

Le SRADDET – Occitanie 2040 qui remplace le Schéma Régional Climat Air Energie régional SRCAE, a été arrêté par l'assemblée plénière le 19 décembre 2019, après approbation par le Conseil régional lors de sa session des 17 et 18 octobre 2019. Le SRADDET définit aux horizons 2040 les grandes orientations et les objectifs régionaux pour maîtriser la demande en énergie, réduire les émissions de gaz à effet de serre, améliorer la qualité de l'air, développer les énergies renouvelables et s'adapter au changement climatique.

➤ *Le Schéma Régional de Raccordement au Réseau des Energies Renouvelables Occitanie (S3REnR)*

Le projet S3REnR prévoit la réalisation de travaux de renforcement du réseau électrique existant en particulier, ainsi que la création de nouveaux ouvrages électriques. Le projet a pour objectif également de faciliter les raccordement futurs d'énergies renouvelables produites sur les territoires, qui s'avèrent en voie de développement accélérée.

A la maille de chaque région de France, le S3REnR permet d'optimiser d'une part les aménagements à réaliser sur le réseau électrique en garantissant à chaque instant son bon fonctionnement, et d'accompagner les ambitions régionales liées à la transition énergétique à l'horizon 2030, en présentant les aménagements envisagés sur le réseau électrique pour accueillir les EnR et les modalités de financement associées aux investissements prévus.

Tout au long du processus de création et d'exécution du projet, le S3REnR intègre les enjeux environnementaux, dans une démarche d'évitement et de réduction des impacts liés à sa mise en œuvre. Les orientations des territoires seront prises en compte, notamment en termes paysagers, de patrimoine naturel et d'occupation du sol. Le projet fait donc l'objet d'une évaluation environnementale à chaque stade.

Plus d'informations : <http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/schema-regional-de-raccordement-au-reseau-des-r8123.html>

➤ *Le Schéma Régional Biomasse*

Le Schéma Régional Biomasse de la Région Occitanie, élaboré en septembre 2019, définit les enjeux et objectifs régionaux en matière de développement des filières bois énergie dans la Région Occitanie, en adéquation avec le Programme Régionale de la Forêt et du Bois (PRFB) et la Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse (SNMB). Le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET), en cours de finalisation, reprend les objectifs du SRB.

Le SRB comporte 19 actions en faveur de l'énergie, en mettant en avant :

- la formation aux filières futures, le soutien à l'innovation,
- le développement des process (méthanisation, injection du biométhane dans le réseau, amélioration de la qualité des combustibles),
- l'accompagnement des porteurs de projets.

Le SRB ambitionne une production de 28 TWh à l'horizon 2050 contre un peu plus de 11 TWh aujourd'hui.

Le SRB Occitanie et son évaluation environnementale ont été approuvés et adoptés le 5 février 2020 par la président de la Région, à la suite de la délibération du conseil régional du 14 novembre 2019.

Plus d'informations : <http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/schema-regional-biomasse-srb-r8189.html>

Le Plan Climat Air Energie Territorial Occitan

L'avancement de la réalisation des PCAET diffère en fonction des territoires Occitans. La carte qui suit montre l'état d'avancement et d'approbation des PCAET dans la Région Occitanie :

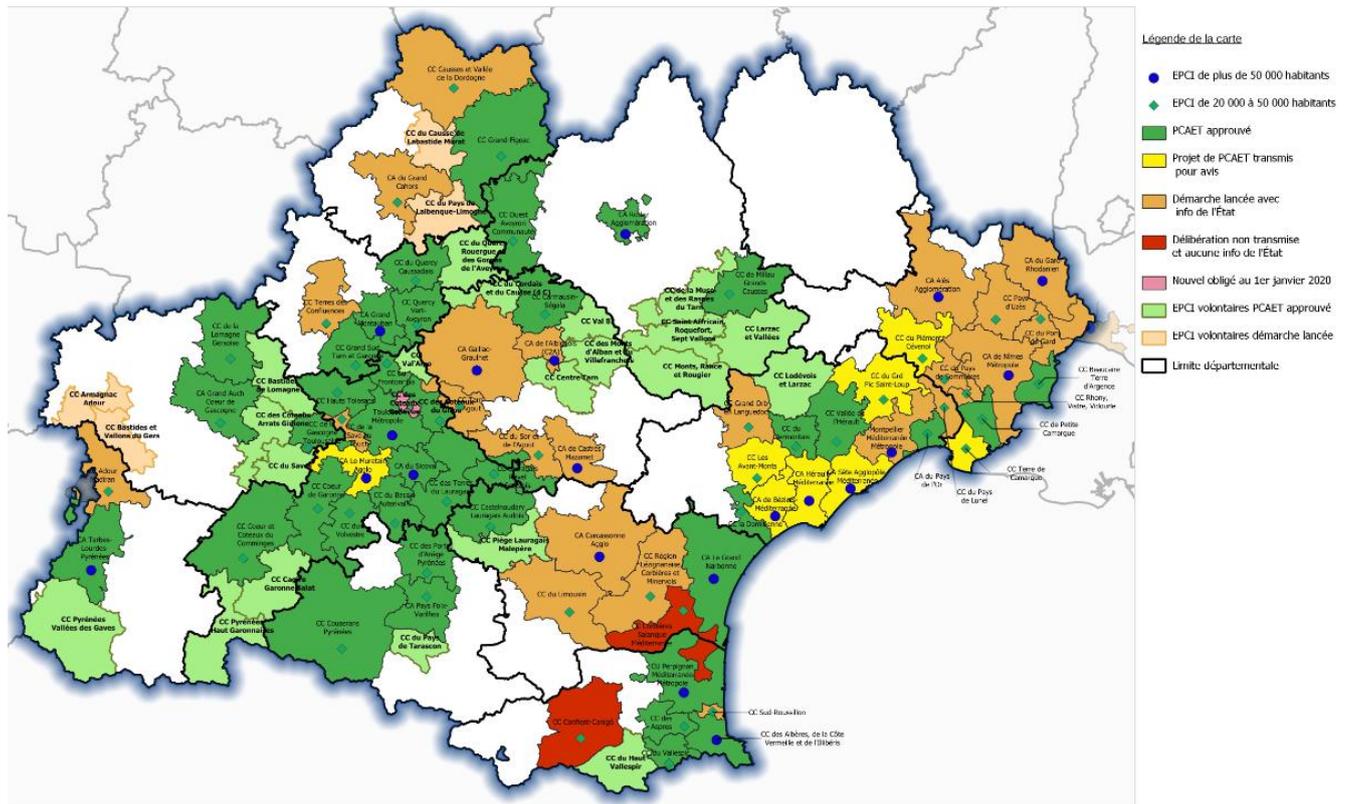


Figure 5 : Articulation juridique des documents de planification

Il s'avère que la plupart des territoires participe activement à l'avancée de la mise en place du PCAET, en particulier ceux connaissant une forte croissance démographique, centrées sur les grandes métropoles de la Région (Nîmes, Montpellier, Perpignan, Toulouse).

L'ensemble de ces dispositifs montre le dynamisme de la région Occitanie pour réduire sa dépendance énergétique. Tous les nouveaux projets d'aménagement se doivent d'intégrer ces démarches spécifiques dans leurs modalités de mise en œuvre.

4.4.2. Portrait énergétique du territoire

4.4.2.1) La Région Occitanie

Le dernier rapport de l'Observatoire Régional de l'Energie Occitanie, édition 2020 met en avant les chiffres clefs suivants :

- La consommation totale d'énergie finale en Occitanie en 2018 était de 129 TWh, correspondant à environ 22 MWh/habitant.
- Les émissions de gaz à effet de serre d'origine énergétique en Occitanie étaient de 21 MkteqCO₂, soit un équivalent de 3,6 teqCO₂/habitant.
- La production d'énergies renouvelables sur les territoires régionaux avoisinait les 31 TWh en 2018, soit environ 16,2% de la consommation totale d'énergie finale, et une part de 21,8% dans les consommations d'énergie finale corrigée des variations climatiques.

- Le secteur du bâtiments (résidentiel et tertiaire), représente une très grande part de la consommation totale en énergie finale tous secteurs dans la Région, environ 45%, devant le secteur des transport 38%, et de l'industrie 14%.

La rénovation énergétique constitue ainsi l'axe principal d'action pour la réduction des consommations énergétiques dans le secteur résidentiel notamment, avec une hausse importante du rythme de la rénovation énergétique, devant atteindre 52 000 rénovations en 2030 et 75 000 en 2040.

La mobilité douce est un 2e axe d'action de la Région Occitanie en guise de réduction des consommations : réduction des déplacements, report modal, mobilité collective, mobilité servicielle, évolution technologies (véhicules électriques en particulier). Ces actions permettraient de réduire les consommations liées à la mobilité des personnes et des marchandises de 65% à l'horizon 2040.

- En termes de sources de production d'énergie, les produits pétroliers restent encore loin devant l'électricité et les ENR, avec une part de 45%, devant l'électricité 21%, le gaz 15%, et les énergies renouvelables thermiques 9%.
- Le mix énergétique tend alors à se diversifier petit à petit, avec l'émergence de l'électricité, et le développement des filières de production d'ENR thermiques.

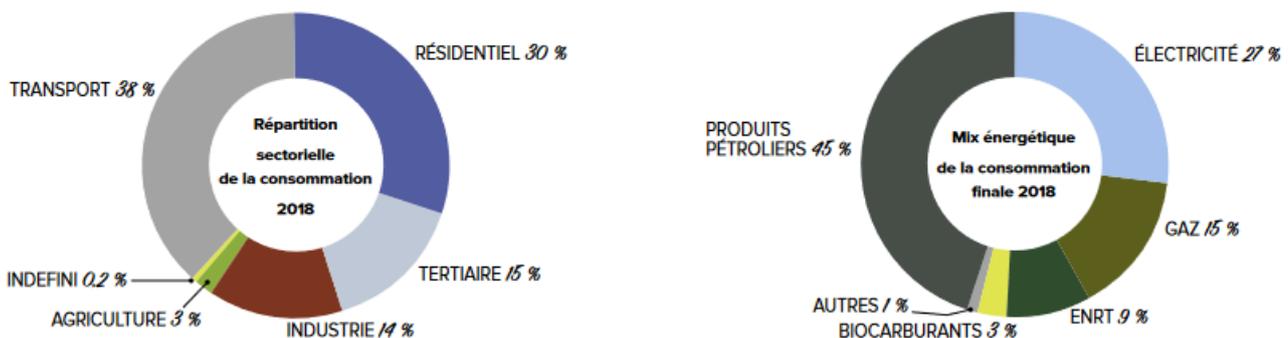


Figure 6 : Répartition des consommations d'énergie et mix énergétique de la Région Occitanie – Source : OREO

➔ L'aménagement de la zone du lycée de Cournonterral a donc un impact direct sur 2 des 3 premiers postes de consommation d'énergie du territoire (tertiaire et transport) et d'émission de GES (transport). Les choix retenus sur l'aménagement de la zone (exigence sur la performance énergétique des bâtiments, développement des ENR, ou développement de la mobilité douce) pourront moduler ces impacts à l'échelle territoriale locale.

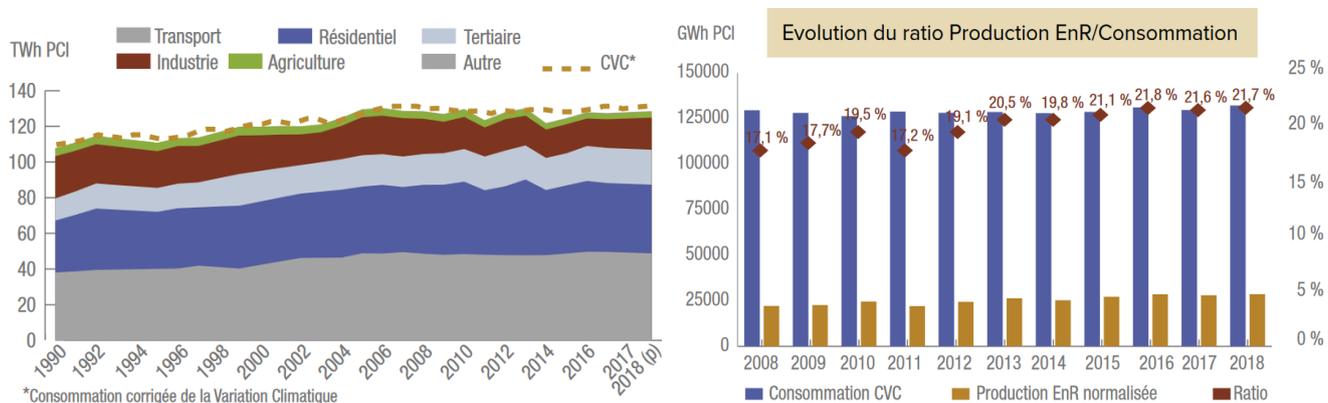


Figure 7 : Evolution de la consommation d'énergie finale et part des ENR

La consommation d'énergie finale corrigée a tendance à diminuer notablement depuis 2005, avec une baisse de 12%. La consommation se stabilise ces dernières années et avoisine les 129 TWh, alors même que la population de la Région a tendance à augmenter.

La consommation d'énergie finale se stabilise depuis 2015, notamment du fait d'une hausse des consommations dans le secteur industriel, combinée au léger repli de la demande dans le secteur des transports et d'une très légère hausse des besoins énergétiques dans le secteur résidentiel.

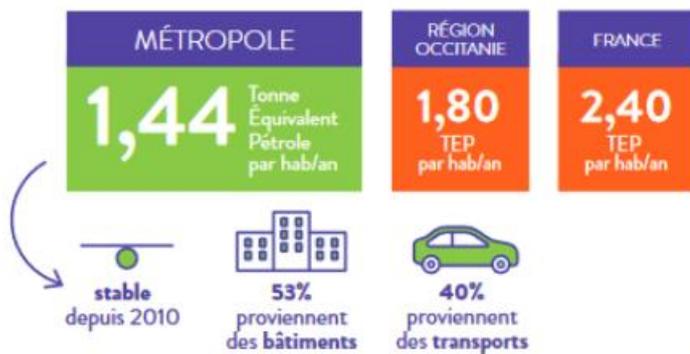
Concernant la production d'énergies renouvelables, le ratio de production par rapport à la consommation a nettement augmenté depuis 2008, passant de 17,1% à 21,7% en 2018.

4.4.2.2) Montpellier Méditerranée Métropole

Montpellier Méditerranée Métropole est un territoire sur lequel de nombreuses démarches sur la maîtrise de l'énergie et le climat ont été mises en place. Notamment l'engagement dans un Agenda 21, projet qui se décline à travers un plan climat air énergie territorial (PCAET).

Les objectifs du PCAET s'articulent autour de plusieurs grands axes :

- Planifier et aménager le territoire pour réduire la dépendance énergétique,
- Anticiper et accompagner les mutations énergétiques,
- Mobiliser les acteurs du territoire et accompagner les changements sociétaux,
- Renforcer la dimension énergétique dans la politique de l'habitat,
- Offrir des services urbains économes en énergie.

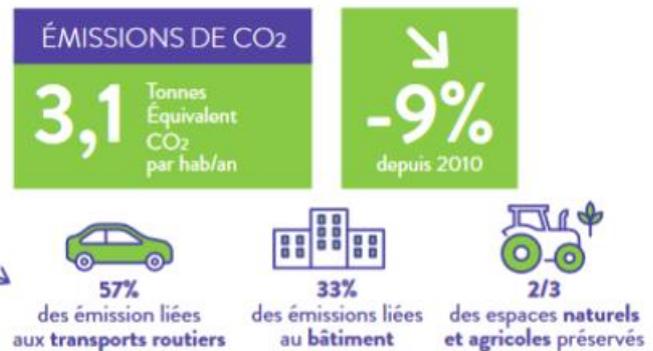


La consommation énergétique de la Métropole de Montpellier avoisine les 1,44 TEP, une consommation qui s'est stabilisée à partir de 2010 et dont **93% proviennent des secteurs du bâtiment et du transport**.

Source : PCAET M3M

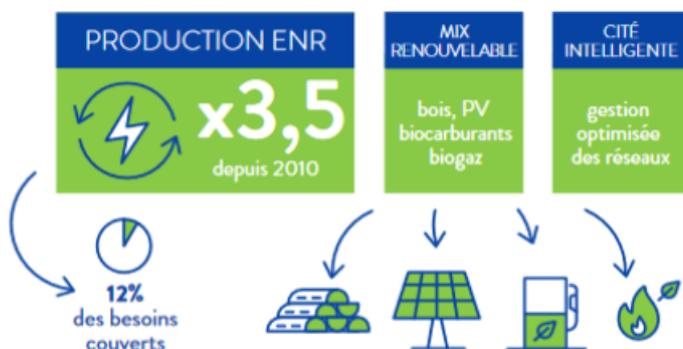
La production d'énergies renouvelables sur la métropole a été multipliée par 3 depuis 2010, et couvrent actuellement **12% des besoins** en énergies des territoires.

Source : PCAET M3M



Les émissions de gaz à effet de serre ont connu une baisse de 9% depuis 2010, pour se stabiliser actuellement à environ 3,1 TeqCO2. Le transport constitue la plus grosse part des émissions, environ 57%, devant le secteur du bâtiment, 33%, et les espaces naturels agricoles et préservés.

Source : PCAET M3M



4.4.2.3) Les actions de la Ville de Cournonterral

(a) Transport et stationnement

Transports en commun : la ville est actuellement desservie par 2 lignes de bus (lignes 34 et 38), en plus des lignes de transport scolaire Hérault Transport. A l'heure actuelle, les lignes de desserte Bus du lycée de Cournonterral ne sont pas encore définies.

Un minibus du soir est également mis à la disposition à la population de Cournonterral dans le cadre de favoriser la mobilité collective, qui dessert le ville de Cournonterral depuis la station Rondelet du tramway 2 à Montpellier.

Borne Révéo : dans le cadre du développement du réseau de bornes de recharges pour véhicules électriques, une station de recharge est mise en place au niveau du parking de la piscine Poseidon. La station fait partie du réseau Révéo, un réseau de bornes de recharge mis à la disposition des particuliers, des entreprises et des collectivités dans le Métropole de Montpellier Méditerranée.

Zones de covoiturage : Le covoiturage contribue à limiter les frais de déplacements, la fréquence comme la densité des embouteillages et la pollution tout en réduisant votre stress au volant. 2 zones de covoiturage sont donc mises à la disposition des habitants, situées au niveau du parking du complexe sportif Georges Frêche et le parking de la salle Victor Hugo.

(b) Mobilité douce

La Métropole favorise le développement de la mobilité douce en aménageant/ créant notamment des pistes cyclables et en finançant des aides à l'appropriation du vélo. La métropole propose des aides allant jusqu'à 1150€ pour l'achat d'un vélo à assistance électrique VVAE.

Le réseau des pistes cyclables sur la Métropole de Montpellier est assez développé, entre pistes bidirectionnelles et des aménagements temporaires. Sur la commune de Cournonterral, une piste 2 directions est aménagée le long de la départementale D5, passant à l'Ouest de la zone d'aménagement du lycée de Cournonterral et allant s'insérer dans le réseau urbain de la ville de Montpellier.

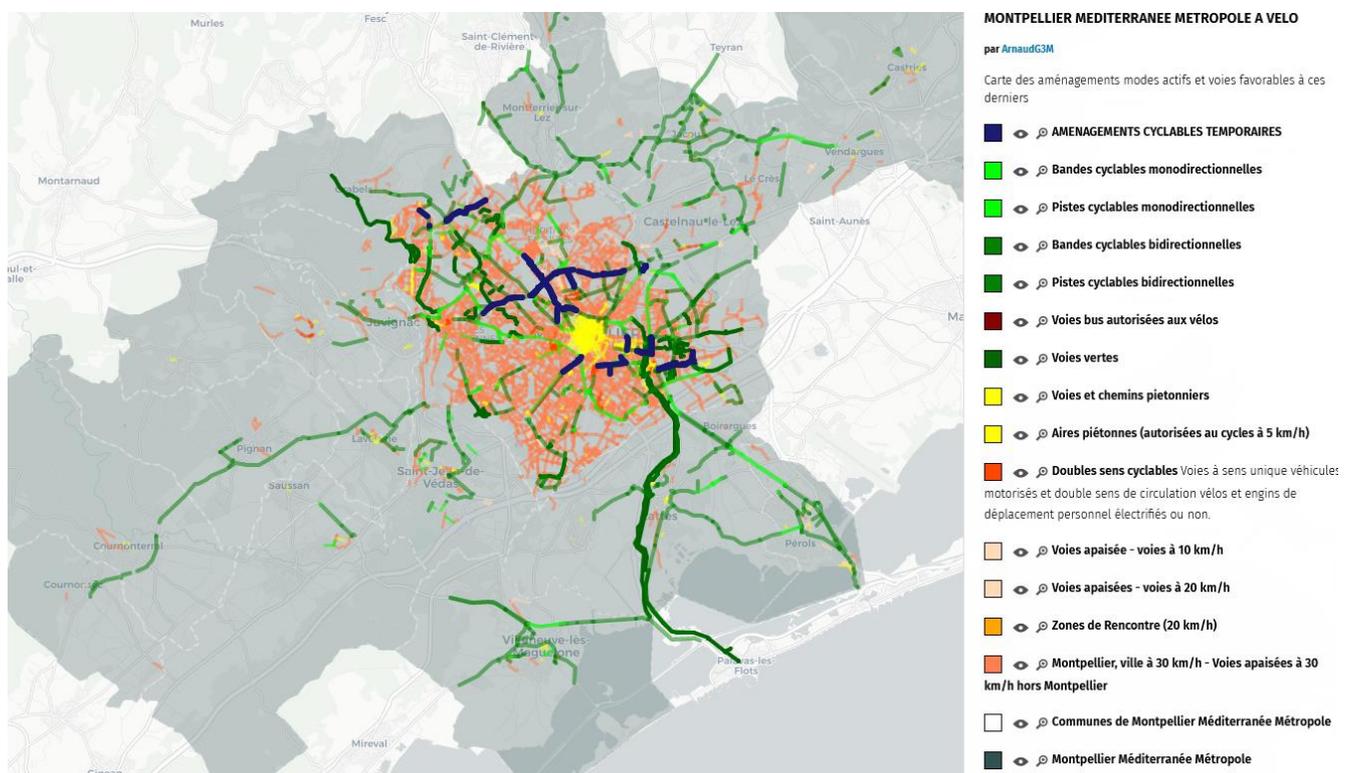


Figure 8 : Cartographie des pistes cyclables de la Métropole de Montpellier

(c) Développement durable/ Maîtrise d'énergie dans le bâtiment

Rénovation thermique de l'habitat : Montpellier Méditerranée Métropole propose un dispositif d'accompagnement destiné aux propriétaires privés souhaitant engager des travaux de rénovation énergétique ou d'amélioration de leur logement. Les propriétaires de Cournonterral peuvent donc bénéficier de ce dispositif d'assistance gratuit.

5. Présentation de la zone d'étude

5.1. Positionnement géographique

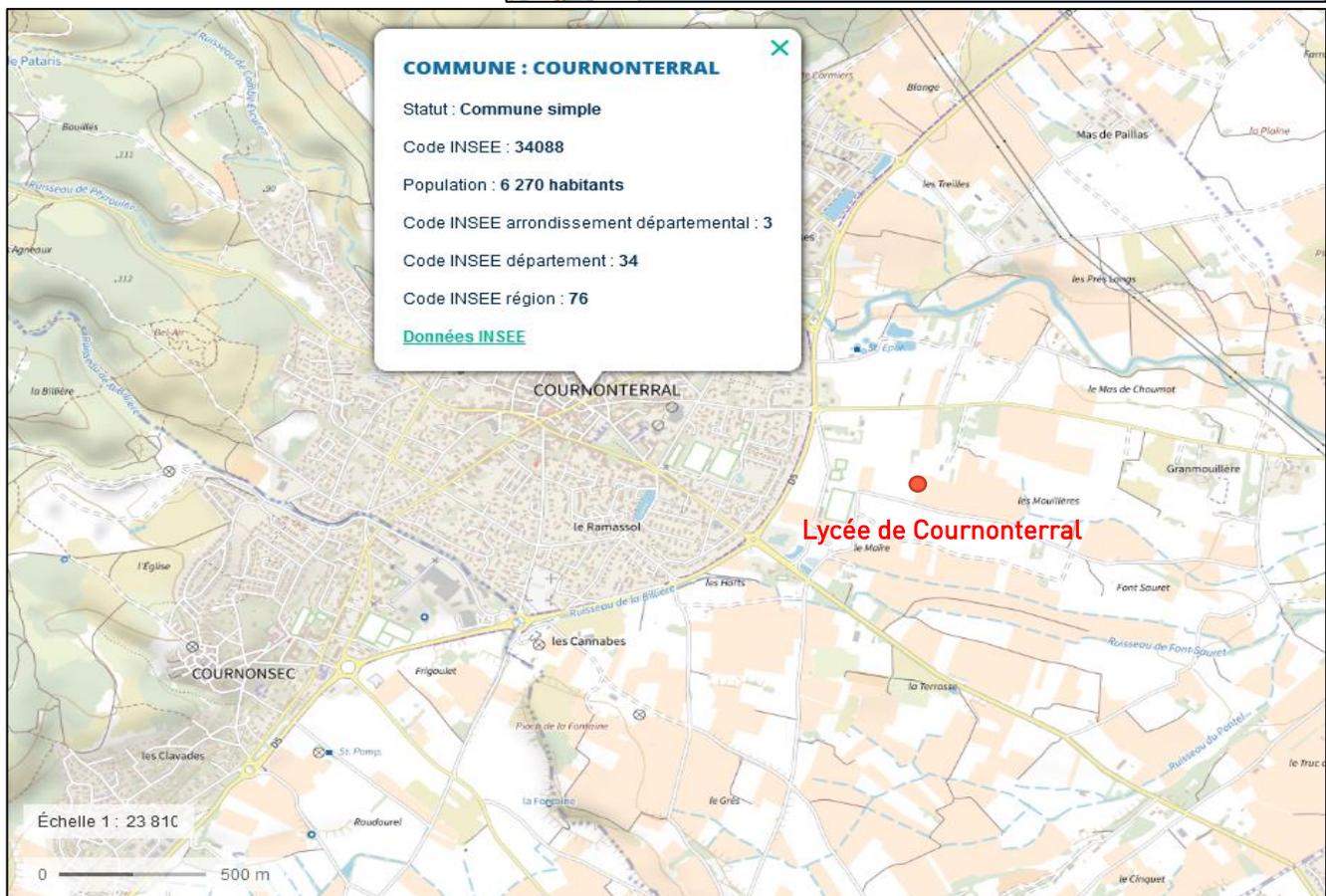


Figure 9 : Localisation du projet (Source : Géoportail)

La commune de Cournonterral est située à 16km à l'Est de Montpellier et 24 km au Nord de Sète.

Le territoire est traversé du Sud-Ouest au Nord-Est par la départementale D5 qui relie la départementale D2 à Montpellier via Montbazin, Cournonterral, et Pignan. La liaison avec les communes limitrophes au Nord et au Sud est assurée par les départementales D114 (axe Nord-Ouest/ Sud-Est), D185 et D102.

5.2. Périmètre d'étude

Le périmètre d'étude concerne la zone d'Aménagement du lycée de Cournonterral.

Le périmètre de cette étude est élargi et comprend :

- Le projet de construction du Lycée en maitrise d'ouvrage REGION OCCITANIE
- Le projet d'aménagements routier en maitrise d'ouvrage MONTPELLIER MEDITERRANNEE METROPOLE avec :
 - o Requalification de la départementale D5,
 - o Création d'un rondpoint au nord,
 - o Création d'un parking bus avec dépose minute voiture et mail piéton d'accès au lycée,
 - o Dévoiement et raccordement des chemins communaux sur l'emprise du projet Lycée.
- Le projet de construction d'un gymnase en maitrise d'ouvrage Ville de COURNONTERRAL

Le plan masse général de l'opération est présenté ci-dessous :

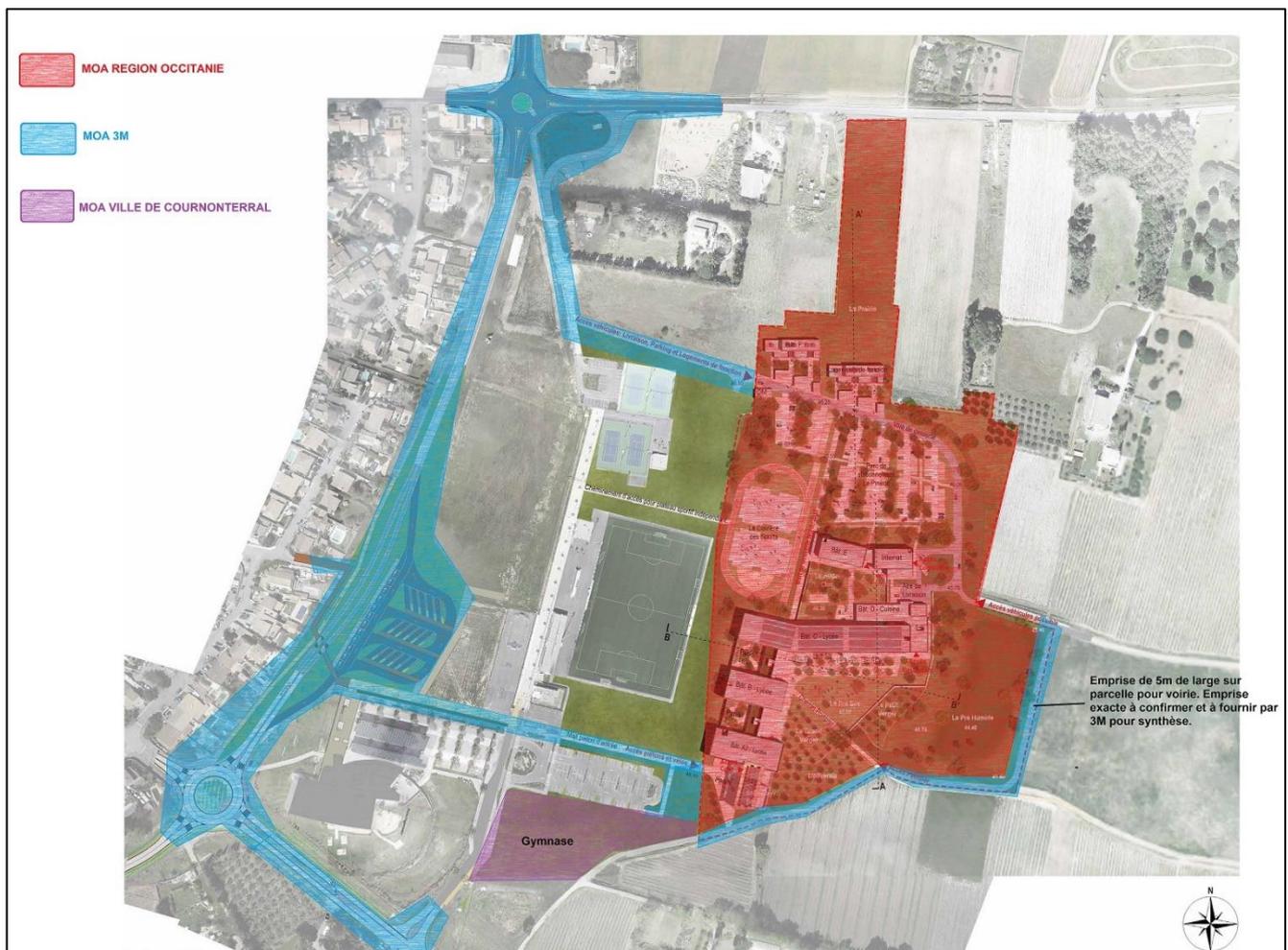


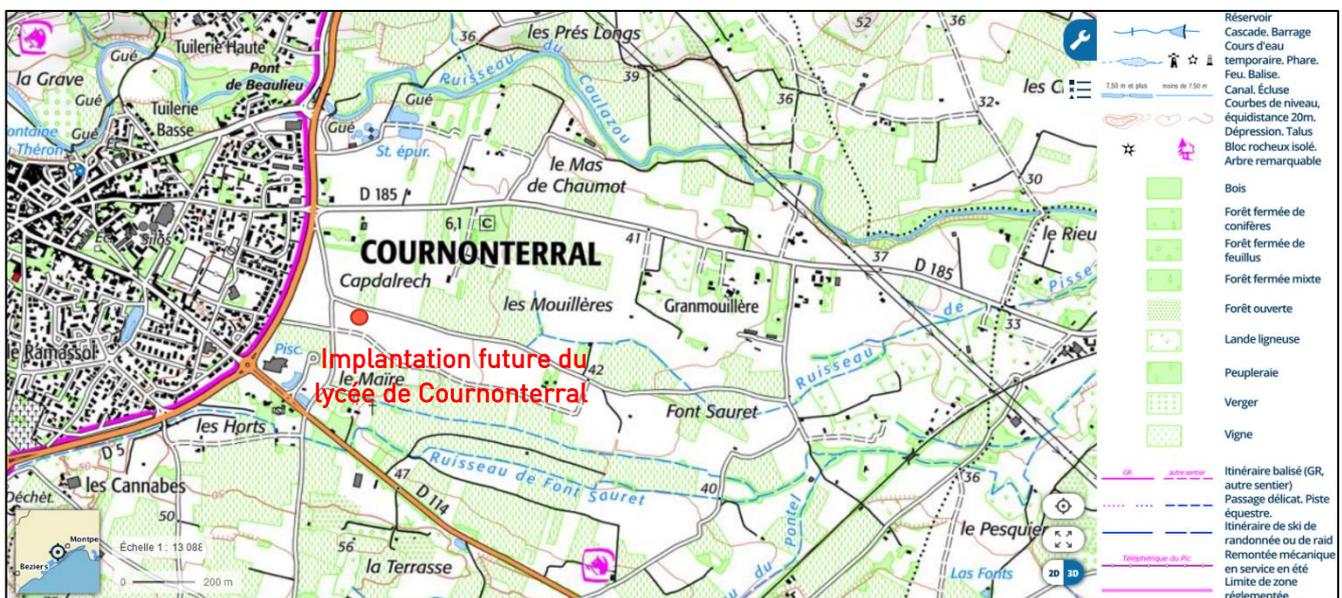
Figure 10: Plan masse général de la zone étudiée

5.3. Topographie

Les figures suivantes présentent le plan topographique des zones d'étude :



Figure 11: Analyse topographique périmètre de la commune (Source : Géoportail)



Le secteur de la zone étudiée du lycée de Cournonterral présente une topographie relativement plane et donc neutre/ favorable vis-à-vis des apports solaires.

5.4. Végétation et bâti existant



Figure 12: Vue Aérienne secteur lycée de Cournonterral

Le site ne présente aucune chaîne d'arbres susceptibles de générer des ombres portées.

L'opération de construction du lycée intègre un projet paysager propre au site, et la conception permettra d'étudier les ombres portées des bâtiments.

Les bâtiments prévus au niveau de la zone (notamment le gymnase) ne devraient pas générer d'ombres portées.

5.5. Programmation et schéma d'aménagement étudiée

Les figures ci-dessous présentent le schéma d'aménagement du site ; le programme de la zone prévoit la construction d'un lycée sous La Région Occitanie comme Maîtrise d'ouvrage. Le lycée comprendra une zone de restauration/ cuisine et un internat de 100 élèves. Une zone logements de fonction individuels est également prévue.

Ces derniers font l'objet d'une seule opération de conception et réalisation, lancée en 2019.

La ville de Cournonterral prévoit également la construction d'un Gymnase au Sud de la zone. Actuellement, l'opération est en phase de programmation.

Groupe	Typologie	Partie du site	Su (m ²)	Nombre	% surface totale
Logement	Collectif	Internat	1470	1	10%
Logement	Logements semi-collectifs	Logements de fonction	1280	1 ensemble	9%
Autre	Ecole	Externat lycée	8650	1	61%
Autre	Centre sportif	Gymnase	2765	1	20%

Groupe	Typologie	Partie du site	Su (ml)	Nombre	% surface totale
Autres	Voirie	Voiries	1939	1 ensemble	100%

Figure 13 : Programmation pressentie pour la zone d'aménagement étudiée

6. Phase 1 : Potentiel de mobilisation des énergies renouvelables

6.1. Energies fossiles disponibles

ENERGIE	ATOUS/AVANTAGES	CONTRAINTES/INCONVENIENTS	COMMENTAIRES H3C
ELECTRICITE	Disponibilité Cout devenant compétitif pour les gros besoins Présence de réseau favorable à l'injection d'électricité produite sur site	Faible rendement global énergie primaire/ finale Gestion des déchets nucléaires	Plus adéquat aux usages spécifiques : éclairage, bureautique, électro-ménagers Peut être retenue en appoint ou complément d'une production centrale
GAZ NATUREL	Zone desservie Impact environnemental et économique plus limité que le fioul. Existence d'un réseau peut être un atout pour le développement du biogaz. Source d'énergie maîtrisée en termes de coûts de fourniture et d'exploitation/ maintenance	Energie fossile à fort impact environnemental Exigences de la RE2020 devenant difficile à tenir sans production d'EnR notamment avec l'introduction du nouvel indicateur Cep,nr	-> Dans la suite de l'étude, l'énergie fossile de référence pour évaluer l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables sera donc le gaz naturel.
FIOUL	-	Très fort impact environnemental Nécessité d'approvisionnement et stockage contraignant (nécessité d'une cuve de stockage) Déclin des aides type crédit d'impôt sur les systèmes fioul Entretien/ maintenance assez couteux en exploitation	Non envisageable sur l'opération
PROPANE	Impact environnemental plus limité que le fioul	Positionnement des cuves ou réseau gaz Volatilité très élevée, nécessité d'une installation sobre Fort impact environnemental	Non envisageable sur le site car présence du gaz naturel.

Synthèse des énergies fossiles disponibles et mobilisables sur le site

6.2. Les énergies renouvelables et de récupération

Les énergies renouvelables représentent les sources énergétiques qui peuvent être utilisées sans que leurs réserves ne s'épuisent. En d'autres termes, les énergies renouvelables doivent globalement avoir une vitesse de régénération supérieure à la vitesse d'utilisation.

6.2.1. Inventaire des énergies renouvelables disponibles et pertinence sur le projet

L'ensemble des solutions sont répertoriées dans le tableau ci-dessous et présentées succinctement en annexe.

Un code couleur permet de juger de la pertinence sur l'opération :



Probable



Possible



Peu probable

> Les solutions jugées peu probables ne sont pas reprises dans la suite du rapport. Les autres sont étudiées ci-après.

Energie	Utilisation	Principe	Pertinence sur le projet et commentaires H3C
Bois	Chaleur	Granulés	Solution adaptée.
		Plaquettes	Solution adaptée.
		Bûches	Le bois bûche n'est pas adapté pour du tertiaire ou des industries, au contraire du bois granulé ou de la plaquette.
Solaire	Chaleur	Panneaux solaires Thermiques	Solution adaptée.
	Electricité	Panneaux solaires Photovoltaïque	Solution adaptée.
Eolien	Electricité	Grand	Obligation réglementaire d'éloignement de plus de 500 m des zones d'habitation des éoliennes de plus de 50 mètres de haut : incompatible en site urbain..
		Petit et micro	Il est préférable d'être un site dégagé avec des vents majoritairement unidirectionnels. Le potentiel est donc limité en milieu en voir d'urbanisation et nécessite des études précises.
Hydraulique	Electricité	Grand (marine)	La zone du lycée de Cournonterral ne se situe pas à proximité immédiate de la mer.
		Moyen (rivière)	Site en centre urbain, construction d'un ouvrage hydroélectrique inenvisageable. Malgré la présence de cours d'eau à proximité de la zone, le potentiel n'est pas intéressant en vue du besoin. -> Potentiel uniquement sur des ouvrages existants (par optimisation ou suréquipement d'installations existantes).
Géothermie	Chaleur/ Froid	Très basse énergie sur aquifère superficiel (nappe)	Solution adaptée au contexte mais nécessitant des forages pour évaluer le potentiel. Forage réalisés dans le cadre des études.
		Très basse énergie sur sondes verticales	Solution adaptée au contexte mais nécessitant des forages pour évaluer le potentiel. Forage réalisés dans le cadre des études.

		Très basse énergie sur sondes horizontales		Surface au sol très disponible en vue du besoin des bâtiments du site.
Aérothermie	Chaleur/ Froid	Pompe à chaleur		Solution adaptée
Méthanisation/ biogaz	Chaleur/ Electricité			Solution adaptée à une plus grande échelle. Pas d'unités existantes à proximité.
Récupération de chaleur fatale sur les eaux usées	Chaleur	Sur les eaux usées de la ville (STEP ¹)		Vérifier la capacité de la STEP et sa distance au projet
		Sur l'assainissement		Vérifier le débit moyen en hiver
		Sur les eaux usées d'un bâtiment		Solution adaptée.

6.2.2. L'énergie solaire

6.2.2.1) Présentation

L'énergie solaire passive : Le solaire passif est la moins chère et l'une des plus efficaces. Elle entre directement dans ce que l'on appelle communément l'approche bioclimatique : l'idée simple est d'orienter et d'ouvrir au maximum les façades principales du bâtiment au sud. Il convient cependant d'intégrer des protections solaires (casquettes solaires, volets) pour limiter les apports en mi-saison et en été afin d'éviter les surchauffes. Cette énergie est directement liée au plan masse du quartier et à l'organisation des bâtiments sur chaque parcelle.

L'énergie solaire active : L'énergie solaire dite « active » se décline sous la forme thermique (production d'eau chaude, chauffage) et photovoltaïque (production d'électricité). Ces deux types d'énergie pourront être utilisés sur le projet.

L'énergie solaire thermique est considérée comme une énergie renouvelable car la durée de vie du soleil dépasse de très loin nos prévisions les plus ambitieuses... Elle peut à ce titre être considérée comme infiniment disponible.

Pour ses qualités environnementales (énergie renouvelable à très faible impact) et durable (simplicité des équipements), l'énergie solaire pourra être intégrée fortement sur le projet.

La mobilisation de l'énergie solaire est possible selon 3 modalités :

- Apports solaires passifs pour limiter les besoins en chauffage ;
- Panneaux solaires thermiques pour la production d'eau chaude sanitaire et de chauffage ;
- Panneaux solaires photovoltaïques pour la production d'électricité.

Les différentes technologies permettant d'exploiter l'énergie solaire sont détaillées en Annexe.

6.2.2.2) Gisement

(a) Brut

La carte suivante présente l'insolation annuelle en Occitanie :

¹ STEP = Station de Traitement des Eaux Usées

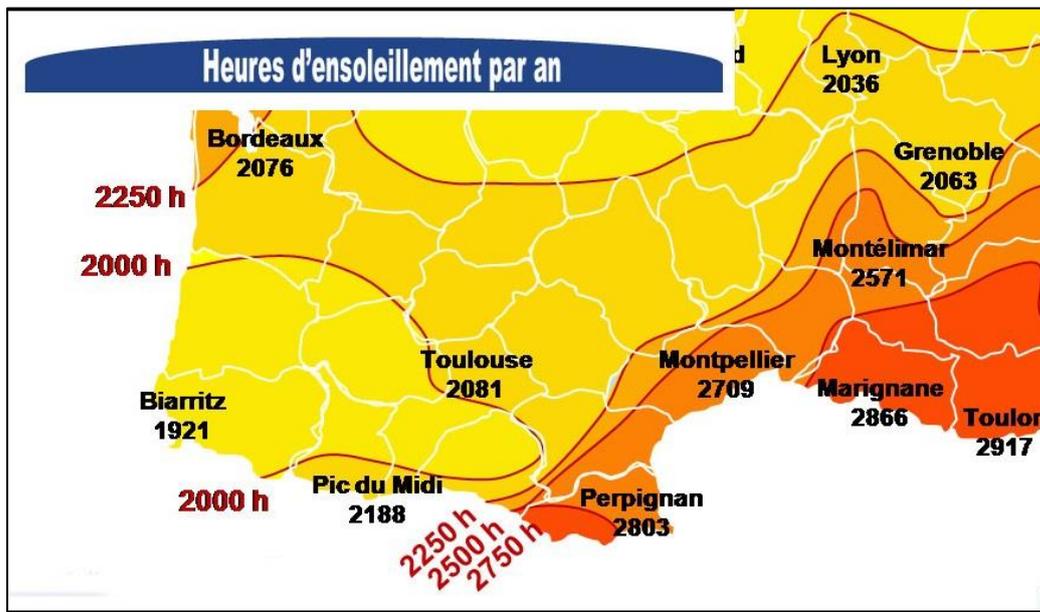


Figure 14: Insolation annuelle de la Région Occitanie (Source lepanneausolaire.net)

→ L'insolation annuelle de la commune de Cournonterral est comprise entre 2600 et 2700 heures/an. L'énergie reçue est d'environ 1 600 kWh/m²/an.

(b) Sur le site

Au niveau du site d'aménagement du lycée, les masques générés par les bâtiments de l'opération devront être pris en compte tout comme l'ombre portée qui pourra être créée par les nouvelles constructions entre elles-mêmes.

6.2.2.3) Préd disposition du projet vis-à-vis des apports solaires gratuits

Construire des bâtiments peu consommateurs d'énergie passe obligatoirement par l'optimisation des apports solaires passifs pour limiter les besoins en chauffage en hiver et les inconforts dus aux surchauffes estivales.

A l'échelle des parcelles :

- Prévoir les façades principales au Sud : une orientation Sud-Ouest à Sud-Est (Sud +/- 20°) reste pertinente.
- Assurer un recul suffisant entre les bâtiments pour permettre un accès au soleil au Sud dans les conditions les plus défavorables (solstice d'hiver).

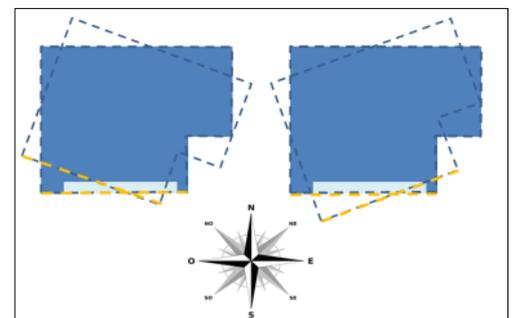
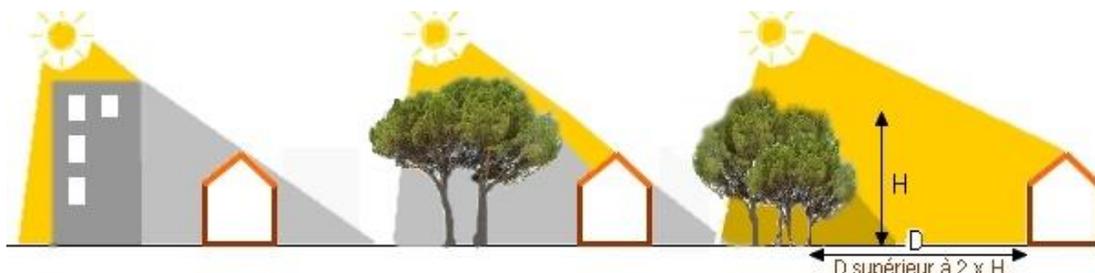


Figure 15 : Orientation optimale des façades principales : Sud +/- 20°

L'annexe sur l'énergie solaire rappelle des données physiques sur la course du soleil et des préconisations pour traiter la thématique des apports solaires à l'échelle d'une opération d'aménagement.



Eviter les masques et les ombres portées

Echelle	Solaire Passif	Solaire thermique	Solaire photovoltaïque
Zone d'étude	<ul style="list-style-type: none"> - Respect des distances impliquées par les ombres portées - Réaliser un étude et simulation d'ensoleillement Heliodon de la zone pour valider l'aménagement vis-à-vis des ombres portées. 		
Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> - Façades et ouvertures principales au Sud +/- 20° - Protections solaires adaptées et bien optimisées 	Réserver l'énergie solaire thermique aux bâtiments à fort besoins en ECS (ex. logements, équipements sportifs)	Production d'énergie à considérer après l'optimisation énergétique du bâtiment (par exemple prévoir une structure de toiture adaptée pour recevoir des panneaux ultérieurement, type structures d'ombrage sur les zones de stationnements, toitures des bâtiments les plus hauts , etc)
		<ul style="list-style-type: none"> - Orientation Sud +/- 25° ; Inclinaison de 45° environ - Limiter les ombres et les masques (bâtiments proches, végétation) 	

Figure 16: Préconisation pour l'optimisation des apports solaires

6.2.3. L'énergie bois

Le bois énergie est l'une des sources énergétiques les plus intéressantes actuellement :

- **Renouvelable** : le bois est une source renouvelable puisqu'il peut être planté en quantité et disponible pour la production énergétique dans un délai cohérent par rapport à notre échelle de temps (quelques années à quelques dizaines d'années) ;
- **Neutre pour l'effet de serre** : dans le cadre d'une gestion raisonnée (on ne coupe pas plus d'arbres qu'on en replante), sa combustion aura un impact neutre sur l'effet de serre puisque le CO₂ dégagé par sa combustion sera remobilisé par la biomasse en croissance grâce à la photosynthèse ;
- **Bon marché** : en fonction des solutions retenues (bûches, granulés, bois déchiqueté), le prix du bois énergie reste intéressant en comparaison avec les autres types d'énergie ;
- **Performant** : les équipements actuels (poêles, chaudières) affichent des performances tout à fait intéressantes, et sont de plus en plus automatisés.

Quelques difficultés peuvent cependant être mises en avant :

Manutention et modes de vie : il convient de choisir la technique la plus adaptée en fonction du futur utilisateur. En effet, la solution bois bûche ne sera pas toujours adaptée à des populations vieillissantes par exemple. Le poêle à bûches sera également plus difficile à réguler ou à automatiser par rapport à un poêle à granulés ou à une chaudière bois.

Le traitement des fumées : il est nécessaire de mettre en œuvre des poêles ou des chaudières performants pour l'ensemble des petites installations afin de favoriser une bonne combustion et ainsi des rejets moins chargés. Les installations plus importantes devront disposer d'équipements spécifiques pour traiter les fumées.

-> **D'une manière générale, nous sommes favorables à l'utilisation forte du bois énergie sur la zone d'aménagement. Il conviendra cependant de valider la filière de livraison pour s'assurer de la disponibilité du bois sur le moyen terme.**

La filière bois est développée dans la Région Occitanie, comme l'indique la figure ci-dessous.

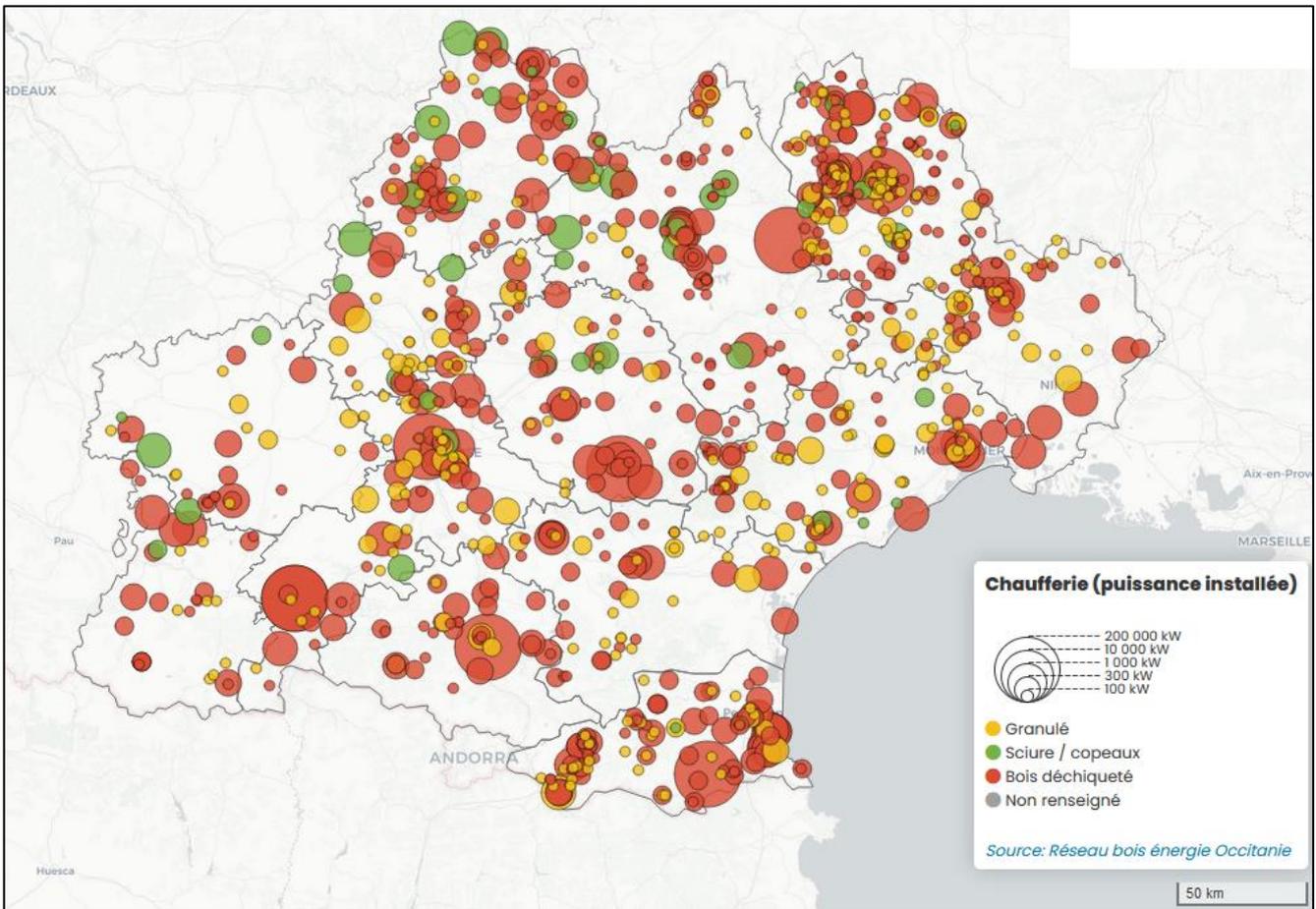


Figure 17 : Carte des chaufferies bois selon la puissance installée. Source : boisenergies-occitanie.org

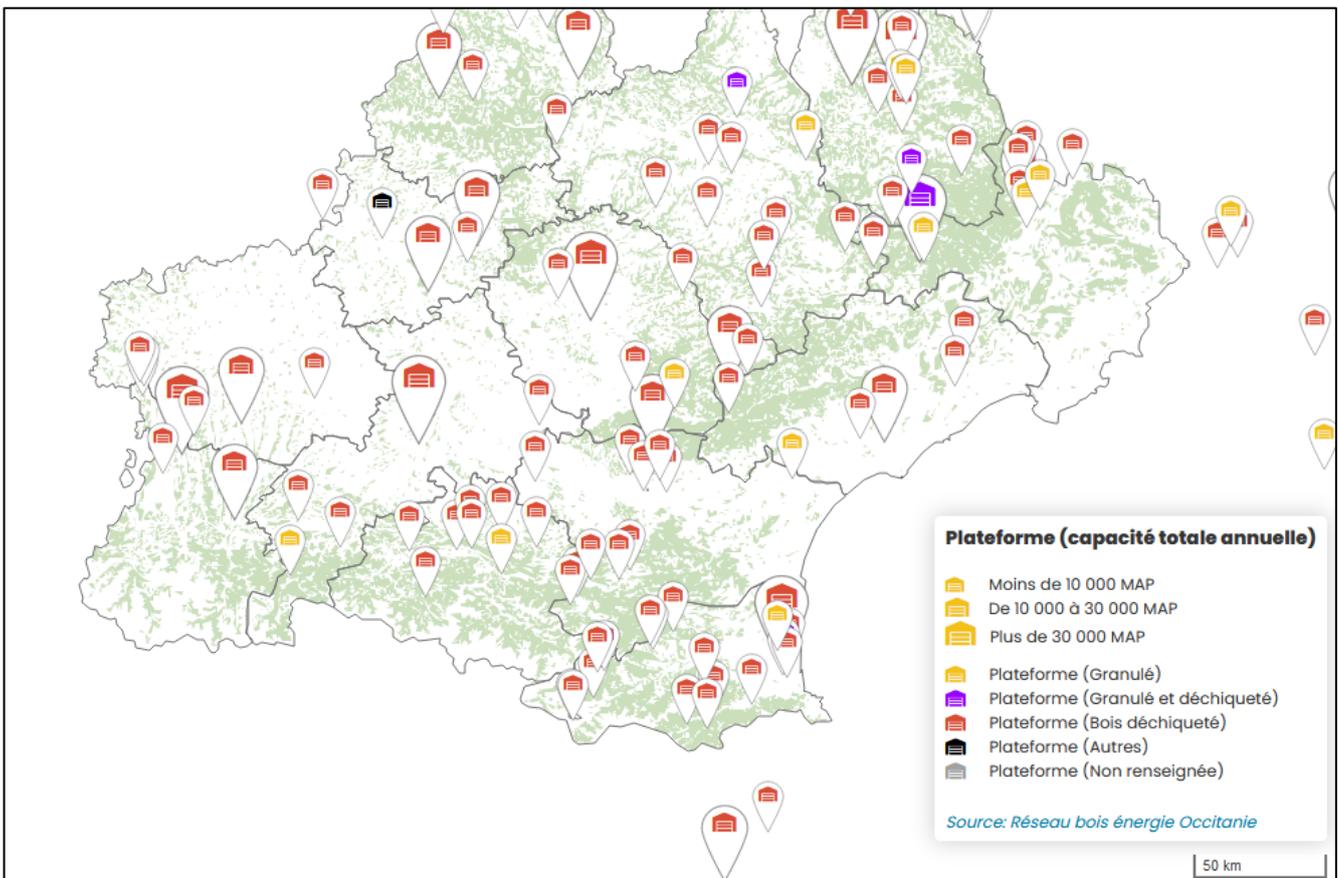


Figure 18 : Carte des chaufferies bois selon leur capacité de stockage annuelle. Source : boisenergies-occitanie.org

Plusieurs fournisseurs se trouvent au niveau de la Région et particulièrement dans le département de l'hérault à proximité du site d'aménagement du lycée :

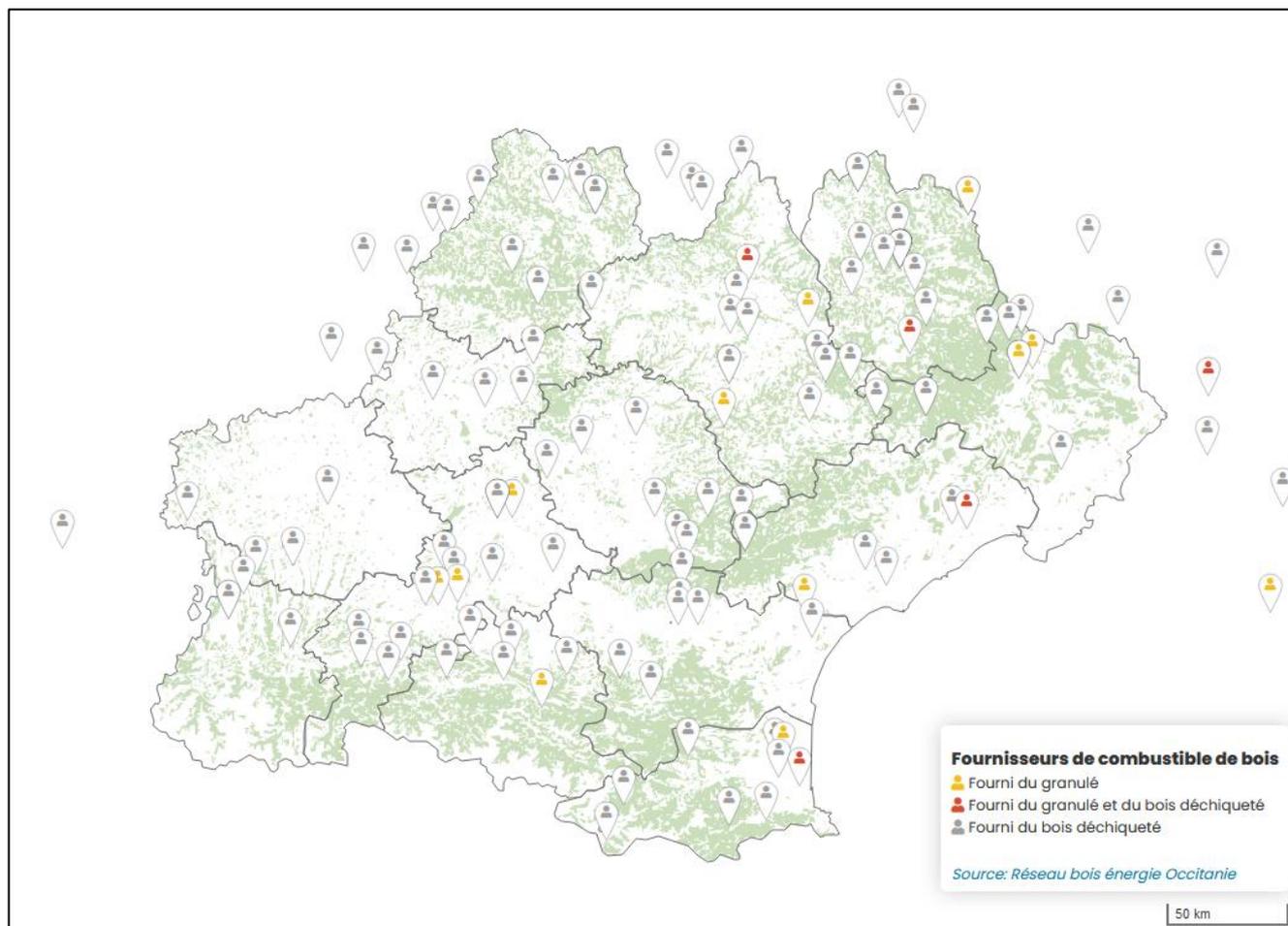


Figure 19 : Cartographie des fournisseurs des différents typologies de bois en Occitanie

Nous recensons une dizaine de fournisseurs de bois à proximités du site (département de l'Hérault et départements limitrophes) sur la cartographie.

D'autres fournisseurs existent à proximité de Cournonterral dans le département de l'Hérault, non pris en compte sur la cartographie, mais consultable directement sur leur sites. On recense une vingtaine de fournisseurs de toutes typologies de bois.

Plus d'informations : <https://boisenergie-occitanie.org/reseau.php>

L'énergie bois est disponible sur le territoire sous différentes formes et la filière est en pleine développement en Région Occitanie :

6.2.3.1) Bois déchiqueté ou plaquettes



Le bois déchiqueté permet d'utiliser des produits non valorisables en bois bûche ou bois d'œuvre. Comme les sous-produits (connexes) des industries du bois, les produits en fin de vie comme le bois d'emballage, les palettes usagées (sorti du statut déchet) mais aussi le bois de forêt (premier éclaircissage, branchage, bois tordus). Le bois déchiqueté sert aussi sur les exploitations agricoles pour valoriser le bois issu de la gestion des bocages

- Plusieurs prestataires seraient susceptibles d'approvisionner le projet en bois déchiqueté situés dans le département de l'Hérault (plateformes d'exploitants forestiers, plateformes locales agricoles, plateformes industrielles liées à des scieries,) :
 - Veolia Propreté : plaquettes forestières C4-C5, bois en fin de vie, déchets verts et élagage, filière locale développée et durable donc avec moins de risque sur l'approvisionnement,
 - CHRISTO palette- ex SARL Bembio : bois en fin de vie, rayon de livraison 100km, livraison par camion benne 30 m³,
 - SARL LR Broyage : connexes de l'industrie du bois

6.2.3.2) Granulés de bois



Les **granulés de bois** sont fabriqués avec de la sciure issue de l'industrie du bois : ces sciures sont transformées en granulés par pressage si elles sont sèches. Elles sont préalablement séchées avant compression si elles sont humides. Dans les deux cas, les granulés ne comportent pas d'additifs. Le granulé de bois est un produit beaucoup plus homogène que la plaquette, donc plus facilement utilisable, mais il nécessite plus d'énergie pour sa fabrication.

Le bois granulé peut être livré en sacs (poêles à granulés) ou en vrac par camion souffleur (chaudières automatiques).

- Plusieurs fournisseurs de granulés en vrac par camion souffleur sont susceptibles d'approvisionner en bois granulés :
 - Européenne de biomasse- Engelvin TP 34 : plaquettes forestières C2 et granulés
 - VALDEBOIS : rayon de livraison de 100km, livraison par camion souffleur granulés,

6.2.3.3) Potentiel sur le projet

- Le bois est disponible sur le territoire sous différentes formes à l'échelle régionale et pourrait assurer la production de chauffage et d'eau chaude de la zone d'aménagement ;
- A l'échelle départementale et communale, la filière bois est assez développée et permet d'assurer la durabilité d'approvisionnement à l'échelle du projet (ex. Veolia Propreté). Nous sommes donc favorables à l'utilisation du bois-énergie en vue de ses caractéristiques énergétiques et environnementales.
- En cas d'adoption du bois-énergie et quel que soit le combustible, il sera nécessaire de prévoir un volume de stockage suffisant et accessible pour la livraison.

6.2.4. L'énergie éolienne (production d'électricité)

6.2.4.1) Présentation

L'énergie éolienne est également une énergie liée indirectement au soleil. En effet, le mouvement des vents et donc l'énergie contenue dans les vents et récupérée par les éoliennes provient directement des différences de températures des zones de l'atmosphère et donc du soleil.

La connaissance du gisement éolien récupérable est l'élément primordial pour s'assurer de l'intérêt économique du projet. En effet le rendement de l'éolienne sera d'autant plus élevé que le site ne génère pas de la turbulence et que le gisement de vent est important. Le rendement de l'aérogénérateur sera donc fonction de la qualité éolienne du site d'implantation.

En effet, la vitesse du vent varie en fonction de la hauteur et de la rugosité du terrain. La rugosité générale par le terrain impose « d'aller chercher » le vent en altitude

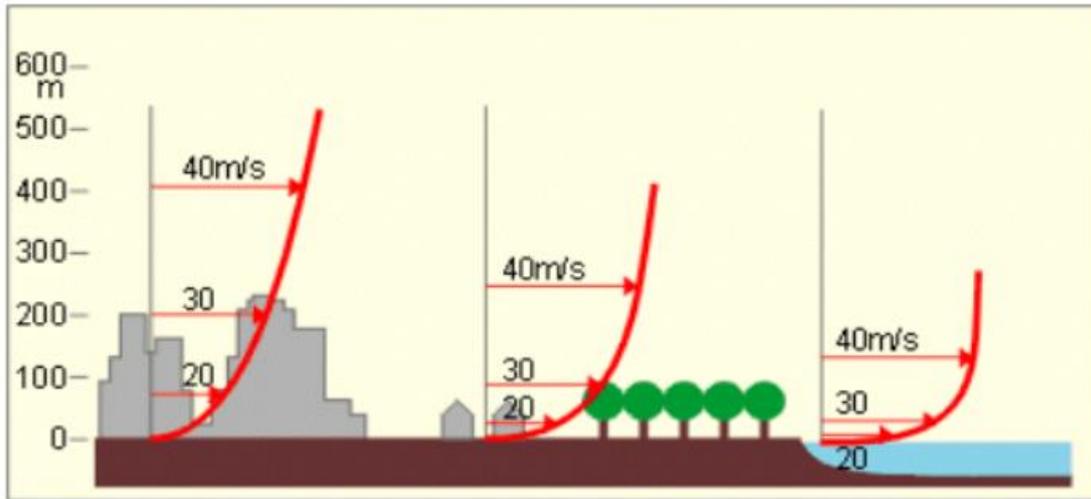


Figure 20: Evolution de la vitesse du vent en fonction de l'altitude et de la rugosité du terrain

6.2.4.2) Gisement

Les figures suivantes montrent la répartition annuelle des directions et les caractéristiques mensuelles du vent selon la station météo de Sète (l'une des stations météo les plus proches du site) :

🌀 Vitesse moyenne du vent et rafales de vent (kts)

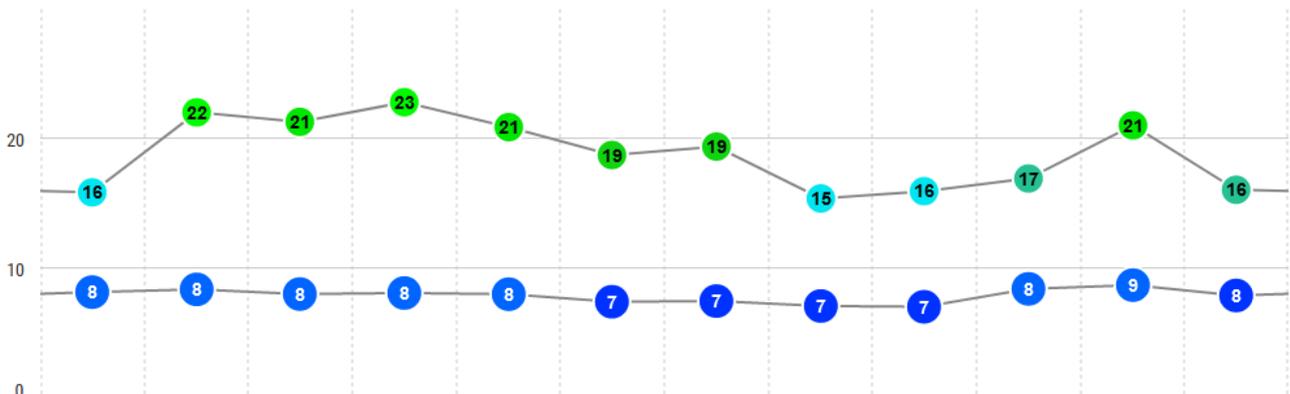
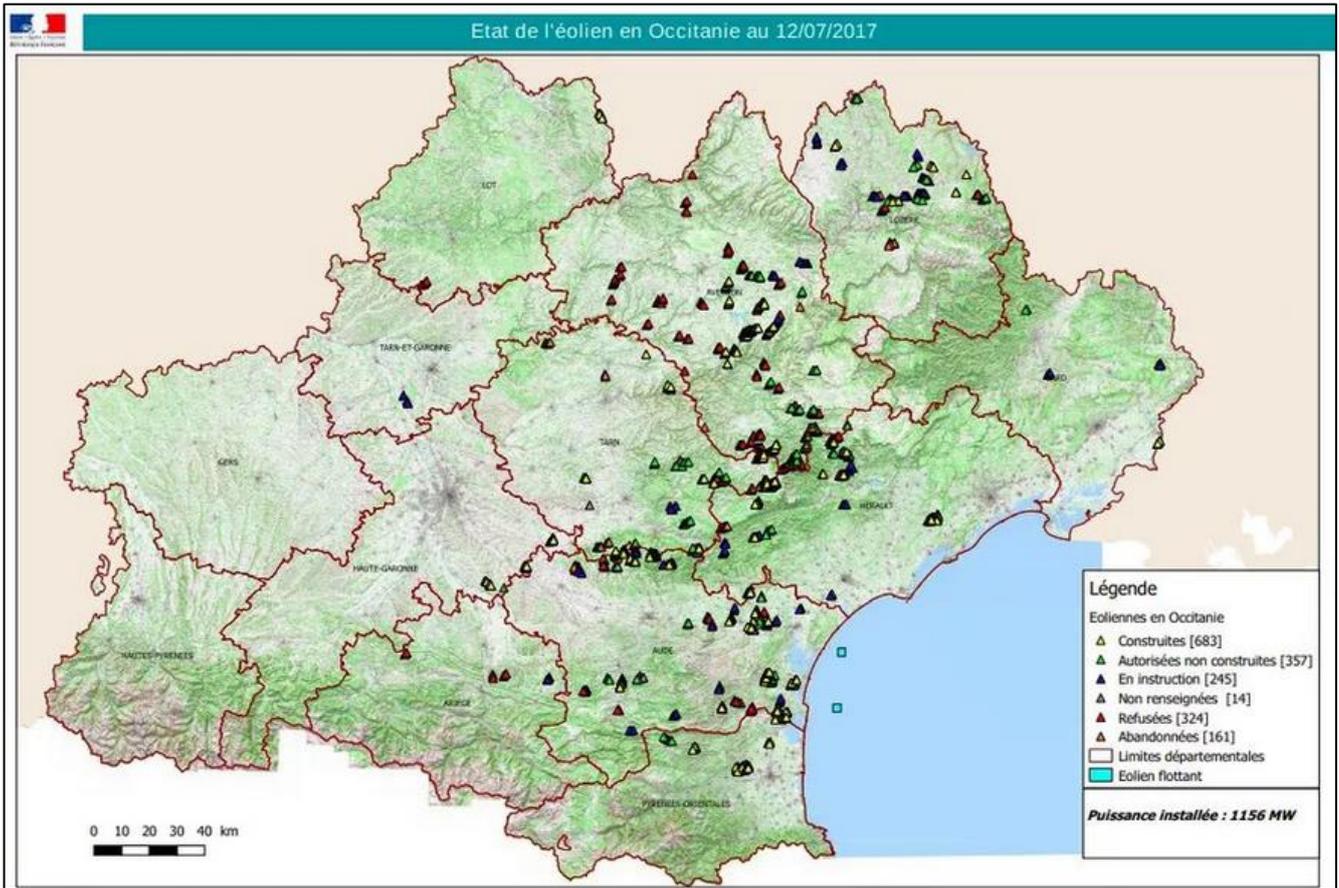


Figure 21: Vitesse moyenne et direction dominante du vent à Sète (source : windfinder.com)



Figure 22 : Répartition mensuelle de la direction et de la force du vent à Sète

Ainsi au cours d'une année les vents sont majoritairement orientés Nord-Ouest.



Eolienne en Occitanie (source : Ademe Occitanie)

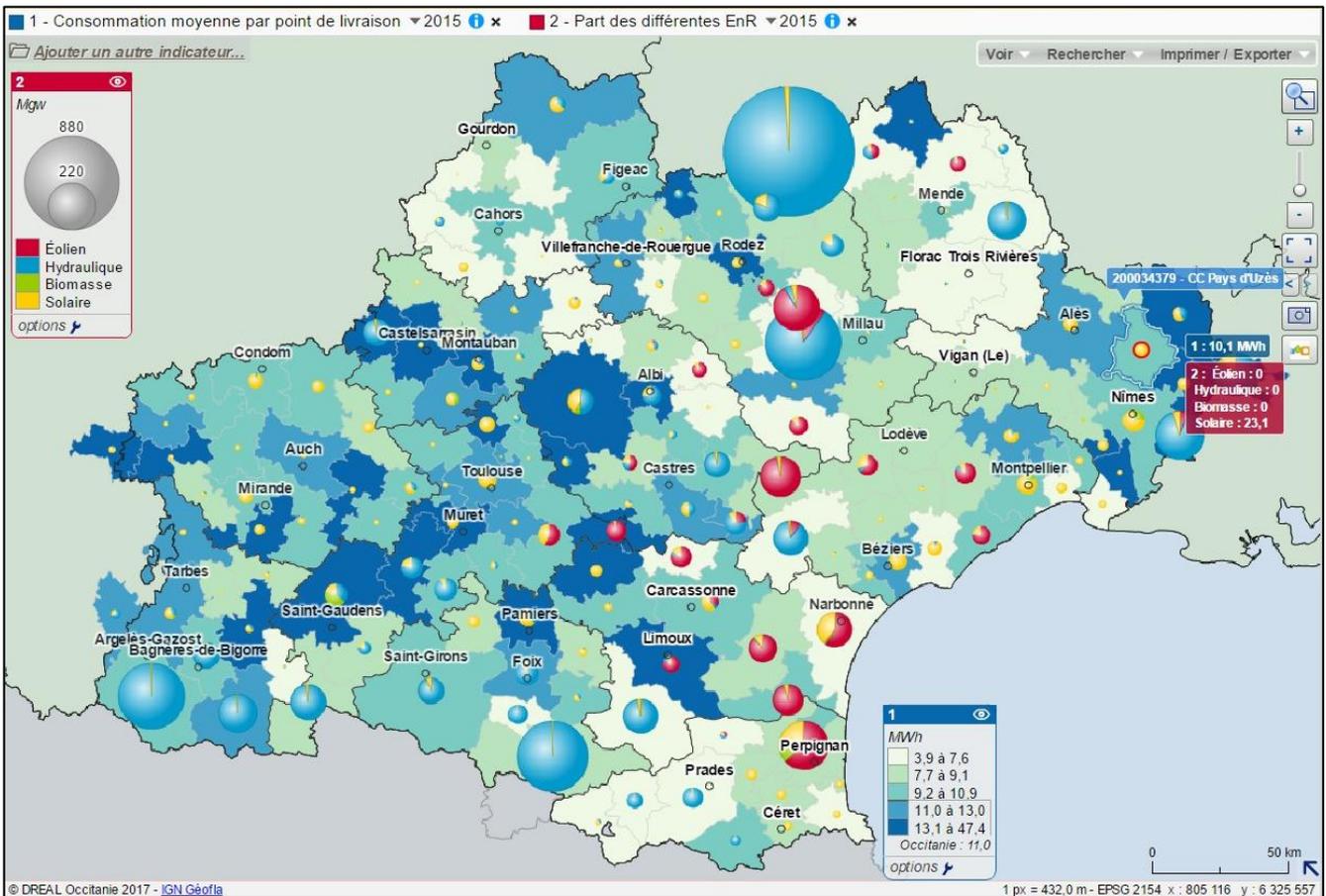


Schéma régional EnR de la Région Occitanie (source : picto-occitanie.fr)

→ En s'approchant du littoral, l'éolien n'est pas assez développé en comparaison avec les territoires du Massif central, où l'altitude favorise fortement la production d'énergie éolienne. Le potentiel reste néanmoins présent.

(a) Grand éolien

L'obligation réglementaire d'éloignement de plus de 500 m des zones d'habitation des éoliennes de plus de 50 mètres de haut réduit à néant le potentiel de développement du grand éolien sur ces sites qui ont vocation à accueillir des habitations.

(b) Moyen et petit éolien

Le petit et moyen éolien regroupe les installations de moins de 45m.

Deux types d'éoliennes se partagent le marché du petit éolien :

- les éoliennes à axe vertical,
- les éoliennes à axe horizontal.

Les éoliennes à axe verticales sont moins sensibles aux turbulences générées par les constructions et la végétation.

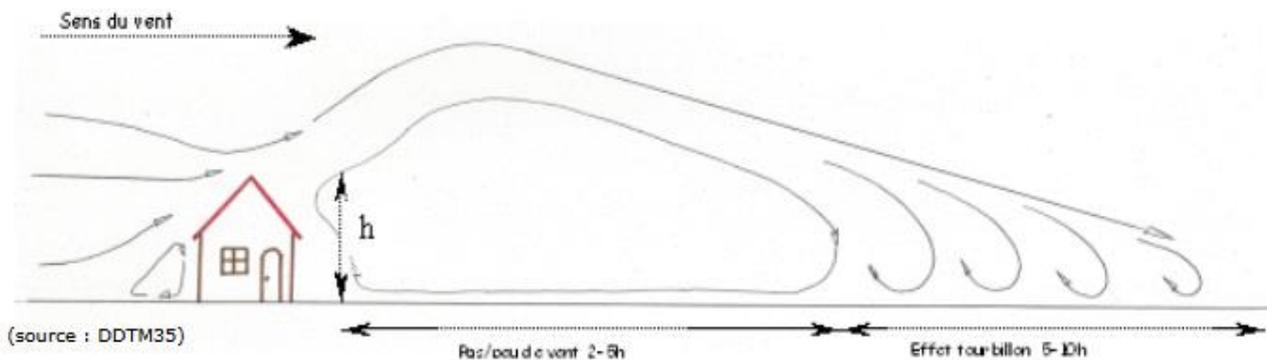


Figure 23: Turbulences générées par une construction (source DDTM 34)

L'éolien doit par ailleurs respecter une distance minimale d'éloignement aux habitations en fonction de la hauteur de l'éolienne (mat + nacelle). Les procédures administratives à respecter varient également en fonction de la hauteur de l'éolienne.

Hauteur Des éoliennes	Distance aux habitations
12<HT<20	40m
20<HT<30	HTx5
30<HT<45	HTx6
HT>45	HTx10

Figure 24: Eloignement aux habitations en fonction de la hauteur (source DDTM 34)

ype	Hauteur	Formalité	Législation des installations classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)	
			Déclaration	Autorisation
Petite	0<HT<12	Déclaration préalable		
Moyenne	12<HT<50	Permis de construire	Rubrique 2980 si P ≤ 20 MW	Rubrique 2980 si P > 20 MW
Grande	>50	Permis de construire		Rubrique 2980

Figure 25: Procédures en fonction de la hauteur (source DDTM 34)

> La détermination du potentiel éolien de la zone demande une étude fine du vent, dont le résultat est intrinsèquement lié aux constructions alentours. Il ne sera pertinent de réaliser une telle étude que lorsque l'opération sera entièrement bâtie.

Le potentiel de développement du petit et moyen éolien sur la zone est lié :

- Physiquement à l'implantation des bâtiments qui influencera les trajectoires de vent. Une étude spécifique pourrait être réalisée en fin d'opération pour mettre en évidence un éventuel intérêt
- Economiquement à l'absence d'obligation de rachat de l'électricité produite
- Techniquement à l'efficacité des technologies : le petit éolien n'est aujourd'hui pas à maturité technique pour assurer une productivité suffisante au vu de l'investissement qu'il nécessite

L'impact paysager de ce type de solution en milieu urbanisé n'est pas abordé dans cette étude mais devra l'être si cette solution est envisagée.

Si un emplacement devait être prédéfini il devrait plutôt se situer sur un point haut et dégagé.

Les opérateurs souhaitant installer des petites éoliennes de moins de 12m pourront le faire sans demander de permis de construire (obligatoire à plus de 12m de hauteur).

6.2.4.3) Potentiel de production dans le projet

- Il est préférable d'avoir un site dégagé avec des vents majoritairement unidirectionnels. Le potentiel est donc limité en milieu urbain ; Les études des vents locales sont réalisées à de grandes hauteurs et ne sont pas suffisantes pour caractériser le potentiel en milieu urbain.

6.2.4.4) Préconisations

Le micro (<1kw) et le petit éolien (<30kw) sont les plus adaptés pour une opération d'aménagement, en intégration sur des bâtiments d'équipements publics par exemple.

L'installation de petit éolien est donc techniquement possible mais devra faire l'objet d'études spécifiques si les opérateurs souhaitent avoir recours à cette source d'énergie.

Puissance nominale	Diamètre de l'éolienne (des pales)	Prix de l'éolienne (installation comprise) (€HT)	Production annuelle
100 à 500 W	0,5 – 2 m	3 000 – 5 000 €	200 – 1000 kW
500 à 1 kW	2 – 3 m	5 000 – 14 000 €	1 000 – 2 000 kW
1 à 5 kW	3 – 6 m	14 000 – 35 000 €	2 000 – 10 000 kW
5 à 10 kW	6 – 8 m	35 000 – 45 000 €	10 000 – 20 000 kW
10 à 20 kW	8 – 12 m	45 000 – 80 000 €	20 000 – 40 000 kW

6.2.5. La géothermie (production de chaleur et d'électricité)

6.2.5.1) Présentation

L'énergie issue de la chaleur originelle de la terre peut également être considérée comme de l'énergie renouvelable car la quantité d'énergie stockée dépasse également de loin toutes nos échelles de temps humaines. Elle peut cependant être récupérée lorsque des failles particulières lui permettent de remonter proche de la surface. Certaines régions françaises sont concernées (le Bassin parisien ou l'Est de la France par exemple, ou encore en Occitanie).

En revanche l'énergie solaire, stockée en partie superficielle du sous-sol et les nappes peu profondes, peut être captée pour la production de chauffage.

Il existe 3 principales technologies de géothermie très basse énergie. Ces technologies peuvent toutes être des solutions réversibles (chaud et froid sur le même système : la pompe à chaleur) :

- Sur nappe :

Les opérations avec pompes à chaleur sur aquifères superficiels permettent de valoriser le potentiel thermique de ressources en eaux souterraines pour le chauffage et/ou le rafraîchissement. L'eau souterraine est prélevée dans un aquifère situé généralement à moins de 200 m de profondeur. L'énergie de cette eau souterraine est valorisée à l'aide d'une pompe à chaleur, puis l'eau est réinjectée dans le même aquifère.

- Sur sondes verticales :

L'eau (ou eau glycolée) circule dans des sondes géothermiques pouvant atteindre jusqu'à 200M de profondeur. Il n'y a pas de contact entre le fluide caloporteur de la sonde et la roche. Le transfert de chaleur se fait à travers les matériaux de la sonde, par conduction. La présence d'une nappe d'eau souterraine est valorisée à l'aide d'une pompe à chaleur, puis l'eau est réinjectée dans le même aquifère.

- Sur sondes horizontales :

Le principe de fonctionnement est le même que la géothermie verticale excepté que les capteurs sont disposés de manière horizontale. La surface de capteurs couvre généralement 2,5 à 3 fois la surface chauffée.

En milieu urbain, cette solution est la moins adaptée et la moins performante parmi les systèmes de géothermie. La densité et l'emprise au sol des bâtiments excluent la faisabilité d'un tel système. Cette solution est plutôt réservée pour de l'habitat individuel rural car elle requiert beaucoup de surface au sol. Elle ne sera pas étudiée dans cette étude.

6.2.5.2) Gisement

La carte suivante présente une estimation des ressources géothermiques de la Région Occitanie :

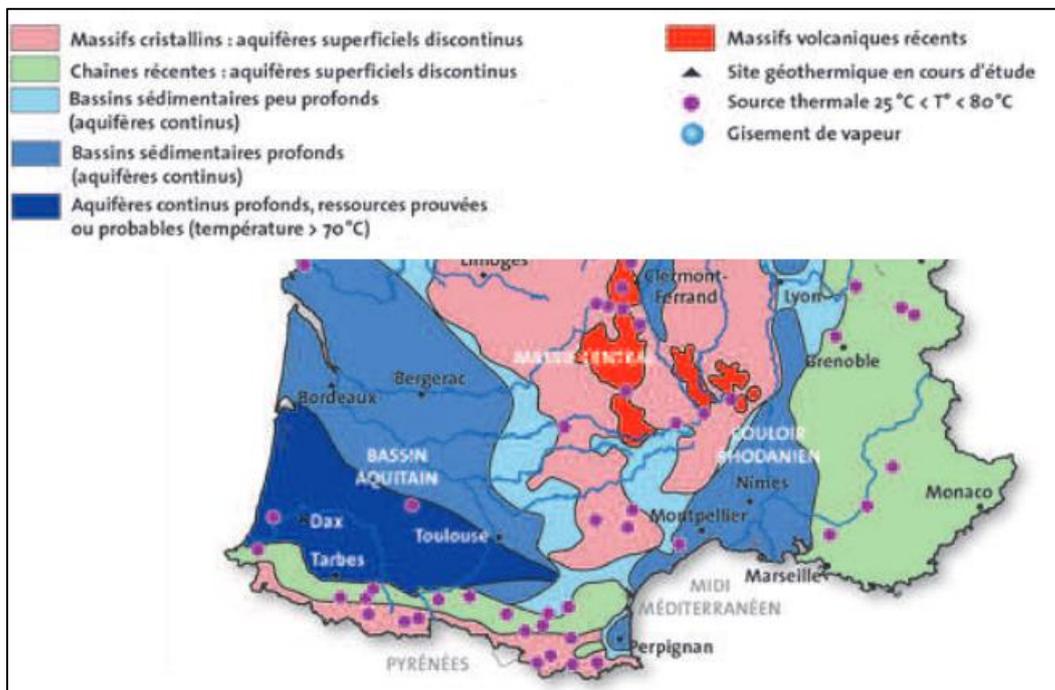


Figure 26: Extrait carte des ressources géothermiques en sud de France (source BRGM)

Le site, comme une bonne partie de la vallée du Rhône, se situe sur un **bassin sédimentaire profond** contenant des aquifères continus. Ainsi, des nappes d'eau profondes (> 1000 m) présentant des températures moyennes forment le potentiel géothermique. La détection de ces aquifères nécessite des **forages** pour évaluer le potentiel de la zone.

Selon le BRGM Occitanie, la région présente de bonnes potentialités géothermiques pour la très basse énergie et il se fait des centaines, voire milliers de forages de géothermie en Occitanie par an.

Pour avoir des données précises sur le potentiel géothermique du site, **la réalisation de forages serait un préalable obligatoire.**

D'après la base de données Info terre du BRGM. Des forages sont recensés à proximité des secteurs. Cependant, ces forages ne sont souvent pas documentés.

Un forage de reconnaissance a été réalisé dans le cadre de l'opération de construction du lycée de Cournonterral afin de justifier de la possibilité d'exploitation du gisement au niveau de la zone. Un Test de Réponse Thermique a été réalisé en utilisant une sonde géothermique sur une profondeur de 100m. Le test a montré sur le sous-sol de la zone une conductivité très correcte pour l'utilisation de la géothermie verticale, et une température initiale excellente et cohérente avec la zone géographique. Le site peut donc être considéré comme assez favorable pour l'utilisation de la géothermie sur sondes verticales.

Néanmoins, le déficit sera de permettre au sous-sol de se régénérer au fil de temps, à moyen et long termes. Pour ce faire, le dimensionnement du champ de sonde devra prendre en considération les contraintes liées à la nature du sol et la localisation géographique.

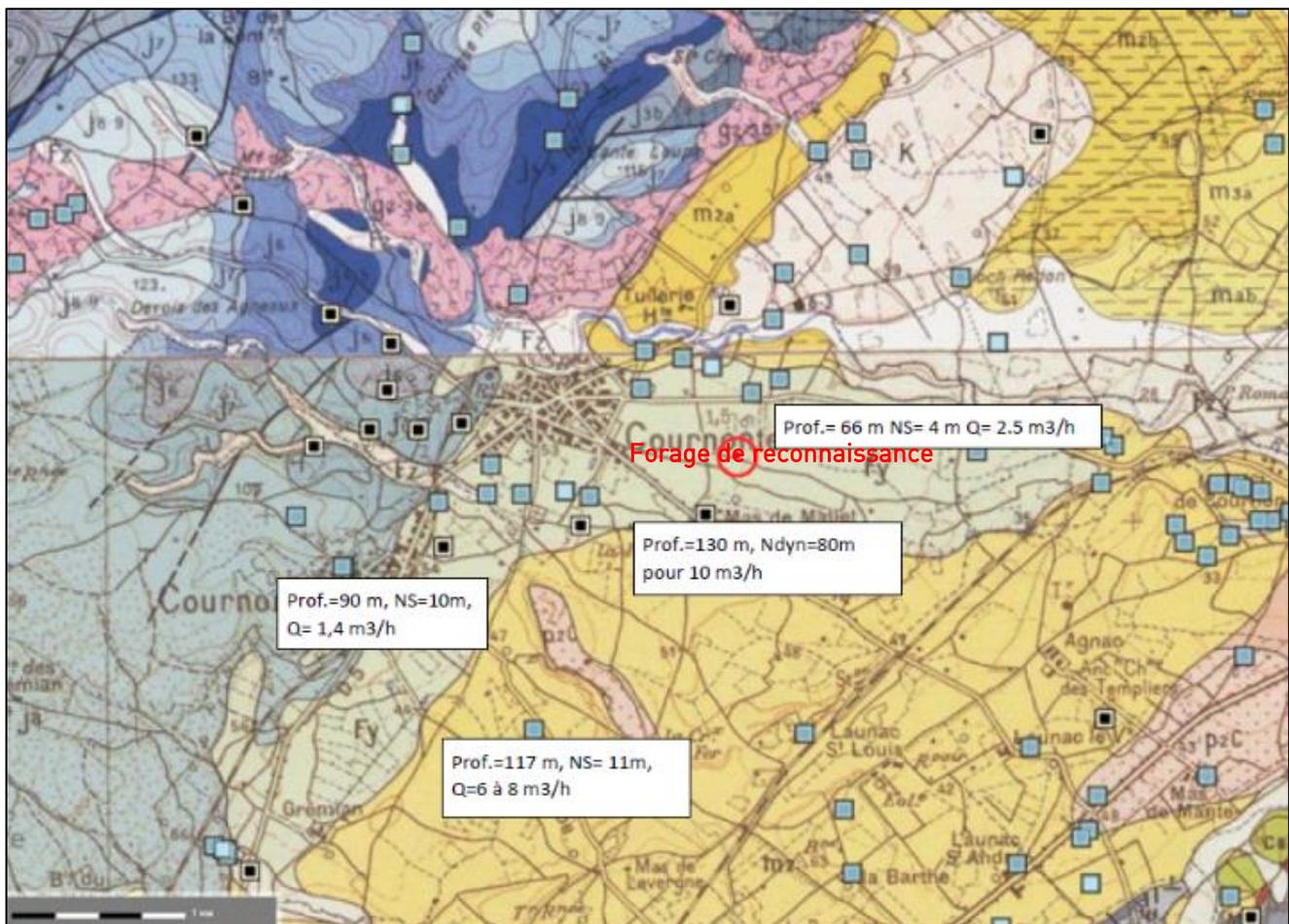


Figure 27 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000ème (BRGM) avec localisation des forages

6.2.5.3) Potentiel de production dans le projet

- Il existe un potentiel géothermique sur sondes verticales exploitable sur le site qui a été démontré par la réalisation d'un forage test dans le cadre de l'opération de construction du lycée de Cournonterral.

6.2.5.4) Préconisations

Points de vigilance pour l'exploitation de la géothermie sur nappe :

- Les logements doivent être équipés d'un circuit hydraulique en régime basse température (plancher chauffant, radiateurs basse température...).

- Risque de débits faibles ou variables de la nappe d'eau (performance non garantie dans le temps)
- Contraintes de maintenance
- Coûts de forages élevés à l'unité (environ 30 000 €HT par doublet)
- Incidence en termes de bulle thermique à prendre en compte, afin d'éviter les recirculations d'eau souterraines entre forage de réinjection et forage de pompage, qui devient d'autant plus pénalisante, que l'on augmente le nombre de forages.

6.2.6. La récupération d'énergie sur les eaux usées

6.2.6.1) Présentation

Source et plus d'info : <http://www.geothermie-perspectives.fr/>

Les eaux usées, d'origine domestique, pluviale ou industrielle comprennent : les eaux ménagères ou eaux grises, les eaux vannes ou eaux noires (toilettes), les eaux d'arrosage (jardins), les eaux industrielles ainsi que les eaux pluviales. Leur température moyenne est d'environ 15°C ce qui en fait une source de chaleur intéressante à exploiter grâce à la mise en place d'une pompe à chaleur. Cette énergie a l'avantage de se situer à proximité de la demande, tout en ayant un impact très limité en termes d'émissions de CO₂. La récupération d'énergie sur les eaux usées est aussi appelée « **cloacothermie** ».

Il existe différentes techniques de récupération, détaillées en annexe.

Chaque système présente des avantages et contraintes. Le choix d'une technologie par rapport à une autre est orienté par la nature et le contexte du projet.

Niveaux	Avantages	Inconvenient	Potentiel
Echangeur de chaleur sur l'eau des douches	Facilité de mise en œuvre et très faible entretien	Investissement significatif (3000 euros/douche) Entretien de l'échangeur	Potentiel de puissance environ 30% de la puissance de production d'ECS
Bâtiments	Solution simple pour l'eau chaude sanitaire des bâtiments de taille significative (hôtel, hôpital, piscine, industrie)	Cout d'un réseau distinct pour les eaux grises. Surcout d'un calorifugeage.	Potentiel de puissance entre 50 kW et 300 kW
Collecteurs	Proximité des preneurs de chaleur Utilise des technologies maîtrisées (échangeurs de chaleurs, pompe à chaleur)	Investissement important. Entretien important (nettoyage échangeur) Peu de retours d'expérience. Possibles effets de l'abaissement de T° sur le process de la STEP. Longueur de canalisation et débit suffisants. Potentiel à étudier finement Vigilance sur le montage juridique notamment les relations entre maitre d'ouvrage du réseau, exploitant du réseau et maitre d'ouvrage du bâtiment à étudier.	Potentiel de puissance entre 10 kW et 1 MW

Stations de relevage	Solution indépendante de la taille du collecteur. Convergence des réseaux vers la station donc débits plus importants.	Potentiel de puissance jusqu'à 2 MW
STEP	Pas de problème de refroidissement Risque d'être éloigné des preneurs de chaleur	Potentiel de puissance jusqu'à 20 MW

Figure 28: Avantages et inconvénients des différents systèmes de récupération d'énergie sur les eaux usées

6.2.7. Application

La récupération thermique sur eaux usées est théoriquement possible sur des réseaux d'assainissement de 5 000 équivalents habitant (EH) au moins ; cependant la pratique a montré en Suisse que la rentabilité des projets n'est assurée qu'à partir d'environ 20 000 EH.



Figure 29 : Localisation de la station d'épuration de Cournonterral-Cournonsec/Gaïa

La station la plus proche (Station Intercommunale Cournonterral-Cournonsec/Gaïa) est plus ou moins proche éloigné (500m) de la partie logements de fonction du lycée de Cournonterral et peut être éventuellement exploitée. Par ailleurs sa capacité (7 200 à 15 000 EH) est inférieure au seuil de faisabilité technico-économique (20 000 EH).

- ➔ La récupération énergie sur les eaux usées est possible à partir des technologies de récupération en pied d'immeuble et d'échangeur sur l'eau des douches. La faisabilité des autres systèmes nécessite des études complémentaires.

6.2.7.1) Potentiel de production dans le projet

A l'échelle du bâtiment (notamment pour les logements de fonction et l'internat où les demande d'ECS sont importants par rapport aux autres types de bâtiments de la zone étufiée), il existe des technologies de récupération sur les eaux usées pour effectuer du préchauffage. Cette technologie du type « PowerPipe » de Solenove Energie, RecupFloor de Gaïa Green, permettent de réduire de 30 à 40% les besoin d'eau chaude sanitaire pour les douches.



Système RecupFloor® de Gaïa Green sous avis technique CSTB

6.3. Innovations liées à la production d'électricité

6.3.1. L'autoconsommation

L'ordonnance n°2016-1019 du 27 Juillet 2016 a fixé un cadre, complété depuis par les décrets d'application. Cette ordonnance permet le développement de l'autoconsommation. Elle ouvre, également, la porte à l'**autoconsommation collective locale**.

L'autoconsommation désigne le fait de consommer tout ou partie de l'électricité produite par son installation de production.



Figure 30: formes d'autoconsommation collective (Source : Enedis)

Les évolutions techniques des systèmes photovoltaïques, la baisse de leur coût de production et l'augmentation de leur rendement, rendent l'autoconsommation de plus en plus intéressante face à l'électricité vendue sur le réseau. De plus, l'autoconsommation permet de réduire les coûts de raccordement au réseau public d'électricité.

Le compteur communicant, aussi appelé Linky, suffit à lui seul pour compter l'électricité produite et consommée par la maison. En parallèle, il permet connaître en temps réel l'état du réseau.

La loi autorise également l'autoconsommation collective qui est définie comme « la fourniture d'électricité effectuée entre un ou plusieurs producteurs et un ou plusieurs consommateurs finals liés entre eux au sein d'une

personne morale et dont les points de soutirage et d'injection sont situés en aval d'un même poste » de distribution d'électricité.

Ainsi, un déficit de production d'un bâtiment à un instant donné peut être compensé par un bâtiment situé à proximité et un excédent de production pourrait être valorisé à proximité.

Les opérations d'autoconsommation collective concernent une large variété de situations :

Ainsi au sein d'un quartier, il peut y avoir de l'autoconsommation collective à l'échelle d'un bâtiment d'habitat collectif où les différents logements se partagent la production d'électricité des panneaux photovoltaïques en toiture, mais également entre deux bâtiments voisins.

6.3.2. Les smartgrid

Parallèlement au déploiement de l'autoconsommation, se développe ce que l'on appelle couramment les smartgrid ou réseau intelligent.

Un smartgrid (ou « réseau intelligent ») regroupe un territoire défini, un ensemble d'installations de production d'énergie et de systèmes de pilotage de cette production et de la consommation sur ce territoire.

Un smartgrid permet d'équilibrer en temps réel la consommation d'électricité et la production en agissant, via les systèmes de pilotage, sur la production et/ou sur la consommation, le délestage (notion de flexibilité), voire le stockage.

Il utilise les nouvelles technologies de l'information et de la communication pour optimiser la production, la distribution, la consommation, et éventuellement le stockage de l'énergie afin de mieux coordonner l'ensemble des mailles du réseau électrique, du producteur au consommateur final. Il améliore l'efficacité énergétique de l'ensemble en minimisant les pertes en lignes et en optimisant le rendement des moyens de production utilisés, en rapport avec la consommation instantanée. Une grille tarifaire spécifique peut être associée à un smartgrid.

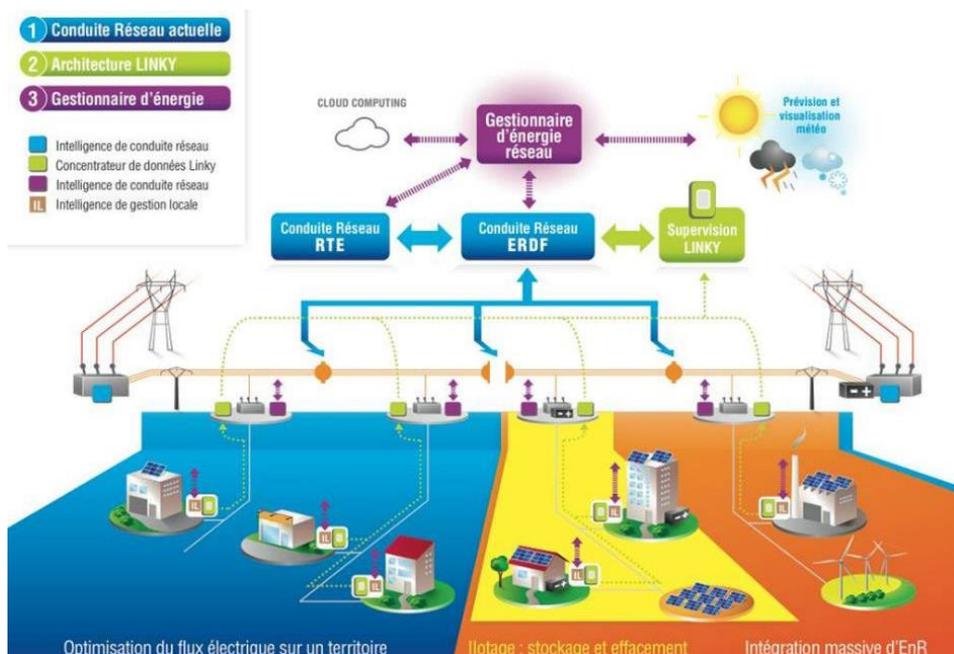


Figure 31: Illustration Smart Grid (Source : www.enerzine.com)

6.4. Synthèse des énergies renouvelables mobilisables sur site

Energie	Potentiel sur site	Conditions de mobilisation	Atout/avantages	Contraintes/inconvénients	Avis H3C et pertinence sur le projet
Bois	+++	Prévoir stockage et approvisionnement Filière bois énergie régionale en plein structuration	Disponibilité de la ressource Filière créatrice d'emplois locaux Chaudière collective possible en habitat collectif et en tertiaire Stabilité du prix de la chaleur	Densité énergétique à valider pour la mise en œuvre de réseaux Niveau d'automatisation à adapter en fonction des utilisateurs Nécessité de mettre en place une logistique d'approvisionnement La qualité du combustible doit être maîtrisée afin d'éviter l'émission de substances polluantes Réserver de la place pour implantation des chaufferies + silo de stockage + espace livraison	Solution pertinente : > ressource disponible sur le territoire. > adaptée à tous types de bâtiments
Solaire passif	++	Orientation Sud des bâtiments Conception bioclimatique (maximiser les apports solaires en hiver, s'en protéger en été)	Energie gratuite Aucune pente du terrain favorisant la non-formation des ombres portées	Contrainte d'orientation Sud Contraintes liées aux ombres portées (bâtiments)	Le plan d'aménagement doit privilégier l'approche bioclimatique et tenir des ombres portées existantes et créées.
Solaire thermique	+++	ECS solaires thermiques en toiture et/ou protections solaires type casquettes (étude approfondie à réaliser). Orientation sud des toitures. Réaliser un modèle 3D pour évaluer précisément l'ensoleillement et	Performante, la technologie du solaire thermique a atteint sa maturité. Le matériel est fiable et a une durée de vie d'au moins 25 ans. Le coût du solaire thermique est très abordable, c'est une énergie consommée sur place. Adapté pour le logement.	Conflit d'usage des toitures (occupation de surface importante par les panneaux solaires)	Solution adaptée pour les logements collectifs, semi-collectifs, et équipements sportifs.

Energie	Potentiel sur site	Conditions de mobilisation	Atout/avantages	Contraintes/inconvénients	Avis H3C et pertinence sur le projet
		notamment les ombres portées des bâtiments.			
Solaire photovoltaïque	+++	Panneaux photovoltaïques : prévoir une étude de faisabilité pour déterminer la faisabilité technico-économique et les possibilités de positionnement (en toiture, en brise-soleil, en ombrière de parking, sur des candélabres, ...) Orientation Sud des toitures ou toits terrasses	Photovoltaïque : peut favoriser une intégration au bâti et au milieu urbain (verrières, façade, mobilier urbain, ...)	Le coût peut être élevé en termes d'investissement et d'entretien/maintenance	Solution adaptée : > Peut couvrir une partie des consommations. > compatible avec un smartgrid.
Géothermie très basse température	+++	La réalisation d'un forage test et d'une étude de faisabilité est indispensable pour confirmer le potentiel et déterminer les modalités d'exploitation. → Etude réalisée dans le cadre de la construction du lycée de Cournonterral	Amélioration de l'efficacité d'un chauffage électrique Utilisation d'une part d'énergie gratuite provenant d'une source chaude (sol, eau)	Appel de puissance électrique pouvant être importante en hiver Impact sur l'effet de serre du fluide frigorigène	Solution théoriquement envisageable après étude de faisabilité + réalisation de forages tests.
Aérothermie	+++		Amélioration de l'efficacité d'un chauffage électrique Utilisation d'une part d'énergie gratuite provenant d'une source chaude (Air)	COP moyen annuel faible Appel de puissance électrique en hiver Nuisances sonores Impact sur l'effet de serre du fluide frigorigène	Solution possible et adaptée. Système pouvant engendrer des appels de puissance sur le réseau et des nuisances sonores.

Energie	Potentiel sur site	Conditions de mobilisation	Atout/avantages	Contraintes/inconvénients	Avis H3C et pertinence sur le projet
Chaleur fatale des eaux usées en pieds d'immeuble	+	-Bâtiment de taille significative + évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux de vannes -> possibilité technique de valorisation sur site -Production collective d'ECS	Energie de récupération Ressource disponible toute l'année Système simple	Ne fonctionne que simultanément à la demande. Contraintes techniques : - Débits d'eaux usées >10l/s - Diamètre collecteur >500 mm - Distance bâtiment-collecteur <200 m	Solution pertinence à l'échelle d'un bâtiment industriel ayant des process rejetant de l'eau. La non-présence de bâtiments de ce type au niveau de la zone rend impossible l'exploitation de ce type d'EnR
Chaleur fatale en pied de douche	+++		Energie de récupération Ressource disponible toute l'année Système simple	-Investissement relativement important	Adaptée à des bâtiments équipés de douches notamment des sites avec de grands vestiaires (gymnase, mais aussi les logements collectifs)
Chaleur fatale eaux usée (collecteurs et station de relevage)	?	Etudes préalables pour quantifier le gisement	Energie de récupération Ressource disponible toute l'année	-Investissement important -Risque juridique -Peu de retour d'expérience -Maintenance significative	
Petit éolien	+	Etude précise des vents à réaliser en phase réalisation et après la construction des bâtiments	Energie renouvelable et gratuite Plusieurs formes de technologies existent et peuvent facilement s'intégrer au paysage urbain	Productivité faible Nuisance sonores potentielles « Effet d'abris » du milieu urbain qui limite la productibilité	Solution nécessitant une étude de vent précise et moins recommandée en site urbain.

 Réalisable sous conditions

 Envisageable

7. Phase 2 : Détermination des consommations d'énergie de la zone

Afin de déterminer le niveau de couverture des consommations énergétiques par les énergies renouvelables, il importe de définir les **niveaux de consommations énergétiques** attendues sur la zone de manière exhaustive, afin de comparer l'impact environnemental de ces solutions.

Il s'agit donc :

- D'évaluer la totalité des consommations énergétiques de la zone en fin d'opération
- De définir des scénarios d'approvisionnement en énergie mobilisant les énergies renouvelables pour répondre à ces besoins
- D'évaluer l'impact environnemental de ces scénarios
- D'évaluer l'impact financier de ces scénarios

Cette étude a pour spécificité d'intégrer :

- L'ensemble des consommations en électricité domestique dans les calculs
- Les consommations énergétiques liées à la cuisson des aliments
- La consommation d'électricité des parties communes.

7.1. Usages énergétiques attendus

Plusieurs types d'usages de l'énergie peuvent être distingués sur une opération d'aménagement :

- **L'énergie liée au fonctionnement des bâtiments**
- **L'éclairage public**
- **L'énergie consommée par les transports**
- **L'énergie grise mobilisée par la construction des bâtiments**

7.2. Les usages liés aux bâtiments

Les bâtiments ont des besoins énergétiques qui peuvent être décomposés en besoins de :

- Chauffage
- Production d'eau chaude sanitaire
- Climatisation
- Électricité technique : éclairage, ventilation, circulateurs etc.
- Électricité domestique : bureautique, HIFI, électroménager etc.
- Electricité des parties communes (éclairage, ascenseur...)
- Cuisson des aliments

Dans cette étude, nous ne considérerons pas de besoins de froid (climatisation) car l'évolution des réglementations thermiques tend à proscrire l'usage de climatisation au profit d'une meilleure conception des bâtiments.

Cette étude va permettre d'évaluer les besoins énergétiques globaux grâce à des hypothèses de consommations énergétiques, en fonction des typologies de bâtiments prévues sur l'opération.

7.2.1. Cas particulier de l'électricité domestique :

Le calcul réglementaire des consommations énergétiques (RT 2005 et 2012) n'intègre pas les consommations d'électricité domestique ni l'énergie nécessaire à la cuisson des aliments, et pourtant, celles-ci représentent une part importante de la consommation énergétique. Jusqu'à 40% des consommations pour un bâtiment très performant (cas du résidentiel).

Dans notre étude, en plus des usages pris en compte par la réglementation thermique (chauffage, ECS, refroidissement, électricité technique : éclairage, circulateurs, pompes, ventilateur...) nous intégrons les usages électrodomestiques suivants :

- Usages domestiques (lave-linge, sèche-linge, lave-vaisselle, etc)
- froid
- éclairage spécifique
- audio-visuel
- informatique/telecom
- circulateurs et communs
- ventilation spécifique
- nettoyage et bricolage
- cuisson.
- Parties communes

7.3. Les autres usages

7.3.1. L'éclairage public

Ce poste est supporté directement par les collectivités. Il sera intégré dans le calcul des besoins en énergie de la zone étudiée de façon exhaustive, et suivant le scénario de fonctionnement courant.

7.3.2. Les transports

Ces consommations d'énergie liées aux véhicules individuels et au transport collectif ont un impact sur l'effet de serre qu'il convient d'évaluer.

7.3.3. L'énergie grise

L'énergie grise peut être définie comme l'énergie fossile nécessaire à la fabrication et au transport des matériaux.

Dans le cadre de la réalisation d'un quartier de logements qui va nécessiter une forte mobilisation des métiers du bâtiment, il peut être intéressant d'encourager l'usage de matériaux à faible énergie grise et dont la mise en œuvre limite les risques sur la santé des ouvriers et des utilisateurs des bâtiments.

Par exemple : favoriser des solutions alternatives aux laines minérales pour l'isolation des bâtiments.

La suite de l'étude n'intégrera pas l'énergie grise des matériaux mais ils sont importants à considérer dans l'optique d'une diminution globale de l'impact énergétique global de la future zone urbanisée

7.4. Estimations des besoins d'énergie des bâtiments de logements collectifs en fin d'opération

7.4.1. Définition des niveaux de performance énergétique par typologie de bâtiment

7.4.1.1) Consommations réglementaires

L'évolution de la réglementation thermique décrite ci-dessus nous incite à définir des hypothèses de consommations énergétiques de référence cohérentes avec le « standard » de la RT 2012.

D'autre part, la future réglementation thermique RT 2020 devrait imposer un niveau passif.

Nous avons donc comparé 2 niveaux de performance énergétique pour les futurs bâtiments :

- **RT 2012** : niveau minimal réglementaire depuis janvier 2013 pour tous les logements (équivalent d'un niveau BBC au sens de la RT 2005)
- **PASSIF** : Objectif de niveau réglementaire RE 2020.

Pour estimer les consommations prévisionnelles en énergie finale en fonction du niveau de performance des bâtiments, nous appliquons des ratios de consommation conventionnels. Ces ratios ont été déterminés à partir d'une étude interne sur les calculs thermiques réglementaires RT 2005 et RT 2012 d'une fourchette de projets représentatifs. Des coefficients de majoration sont ensuite appliqués sur les postes chauffage et ECS pour se rapprocher des consommations réelles.

L'approche utilisée pour l'estimation des besoins en vue de la nouvelle réglementation RE2020 est inspirée du scénario Négawatt.

Le scénario négaWatt, actualisé en 2013, propose un niveau de performance qui va au-delà de la future réglementation thermique de 2020 en poussant à l'extrême les économies d'énergie et notamment sur la consommation d'électricité domestique. Les usagers sont clairement impliqués dans le niveau de performance de leur habitat.

Plus d'informations : <http://www.negawatt.org>

7.5. Hypothèses de calcul

Nous considérons la programmation suivante :

Groupe	Typologie	Partie du site	Su (m ²)	Nombre	% surface totale
Logement	Collectif	Internat	1470	1	10%
Logement	Logements semi-collectifs	Logements de fonction	1280	1 ensemble	9%
Autre	Ecole	Externat lycée	8650	1	61%
Autre	Centre sportif	Gymnase	2765	1	20%

Groupe	Typologie	Partie du site	Su (ml)	Nombre	% surface totale
Autres	Voirie	Voiries	1939	1 ensemble	100%

Le graphique suivant présente les hypothèses de consommations en fonction de la performance énergétique par typologie :

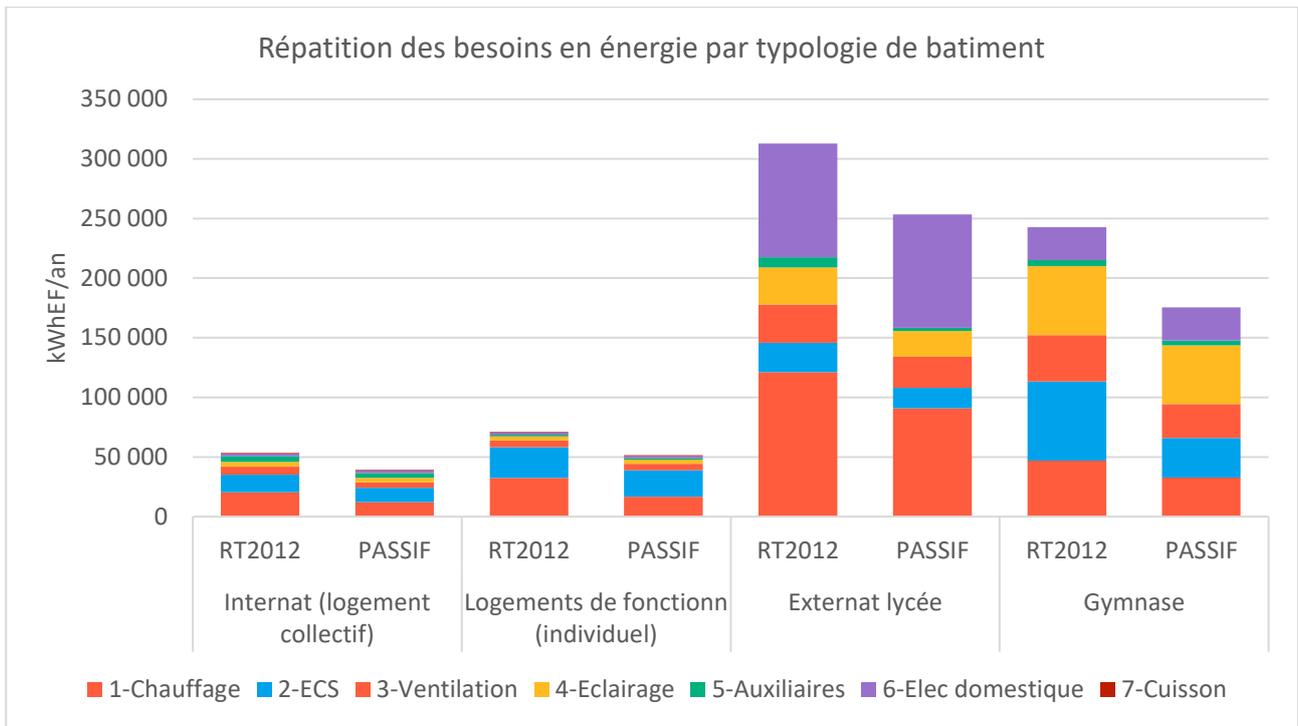


Figure 32 : Hypothèses de consommations prévisionnelles en fonction de la performance énergétique

Typologie	Scénario	1-Chauffage	2-ECS	3-Ventilation	4-Eclairage	5-Auxiliaires	6-Elec domestique	7-Cuisson	Total général
Internat (logement collectif)	RT2012	20 580	14 700	6 615	3 969	4 866	2 000	540	53 270
	PASSIF	12 142	12 142	4 410	3 822	4 136	2 000	540	39 193
Logements de fonctionn (individuel)	RT2012	32 512	25 600	5 760	3 456	1 280	2 000	540	71 148
	PASSIF	16 640	22 272	5 504	3 328	1 280	2 000	540	51 564
Externat lycée	RT2012	121 100	24 739	32 186	30 967	8 650	95 150	0	312 792
	PASSIF	90 825	17 300	25 950	21 625	2 682	95 150	0	253 532
Gymnase	RT2012	47 005	66 360	38 710	58 065	4 866	27 650	0	242 656
	PASSIF	32 904	33 180	28 203	49 355	4 136	27 650	0	175 428

Figure 33 : Tableau synthèses des besoins en kWh/an par typologie et par scénario

7.6. Calcul des besoins énergétiques de l'îlot en fin d'opération

A partir des hypothèses de programmation et de besoins énergétiques par typologie, nous avons réalisé une évaluation des besoins d'énergie à l'échelle du projet. Le graphique suivant présente la consommation prévisionnelle d'énergie finale par scénario de performance énergétique :

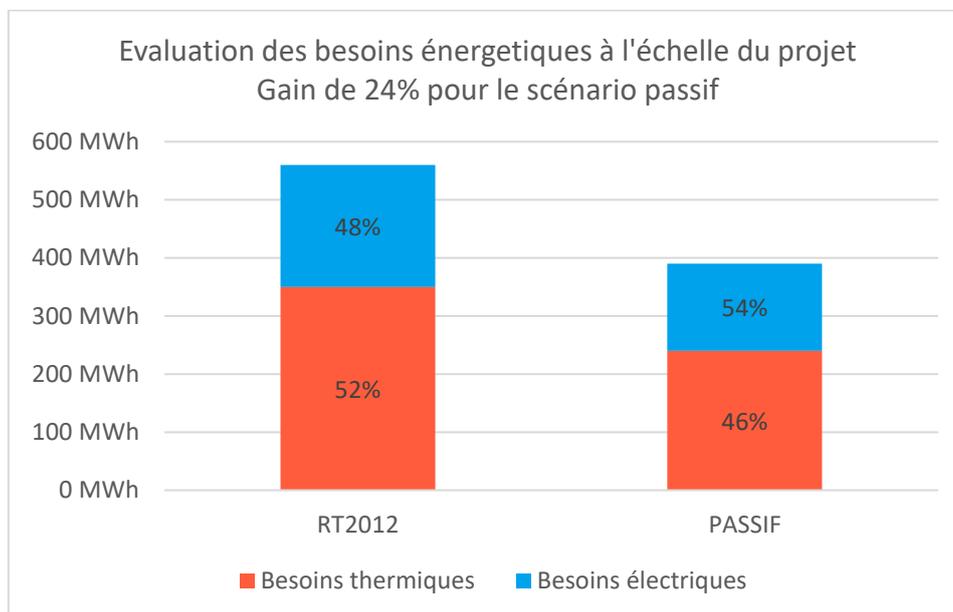


Figure 34 : Evaluation des besoins énergétiques à l'échelle du projet par scénario de performance énergétique

Ainsi, la consommation énergétique attendue sur la zone serait de 9 137 MWh/an pour le scénario RT2012 et 7 411 MWh/an pour le scénario passif.

Le niveau passif permet de réduire de **24%** les consommations grâce à une diminution des consommations de chauffage et d'électricité technique, domestique et des parties communes.

- En RT 2012, les besoins électriques sont presque équivalents aux besoins thermiques.
- En passif, les besoins électriques sont supérieurs aux besoins thermiques.
- Les réglementations thermiques ont permis d'améliorer la conception énergétique des bâtiments. Les besoins en électricité sont du même ordre que les besoins thermiques. Ainsi, L'expérimentation E+C- (qui préfigure la future réglementation énergétique) considère l'ensemble des besoins énergétiques du bâtiment et de la parcelle.

8. Phase 3 : Taux de Couverture des besoins de la zone par les ENR

En considérant les hypothèses de consommations énergétiques déterminées précédemment, nous allons déterminer le taux de couverture théorique de chaque énergie renouvelable, pour répondre aux consommations énergétiques du futur quartier.

8.1. Production de chaleur et/ou d'électricité par énergie solaire

La pose de panneaux solaires pourra se faire en toiture des bâtiments.

La surface de toiture exploitable est évaluée sur la base de la programmation actuelle de l'opération.

Ainsi on considère :

Typologie	Pourcentage	Surface exploitable
Logements de fonction	40% de la surface de toiture	280 m ²
Internat	60% de la surface de toiture	1440 m ²
Lycée	70% de la surface de toiture	3010 m ²
Gymnase	60% de la surface de toiture	840 m ²
Extérieur (parking, arrêt bus, etc)	50% de la surface de toiture	2050 m ²

La surface exploitable en toiture est estimée à 7 700 m² pour l'ensemble de l'opération.

La possibilité de pose en protections solaires sur les bâtiments est techniquement possible mais devra être étudiée au cas par cas pour prendre en compte les ombres portées.

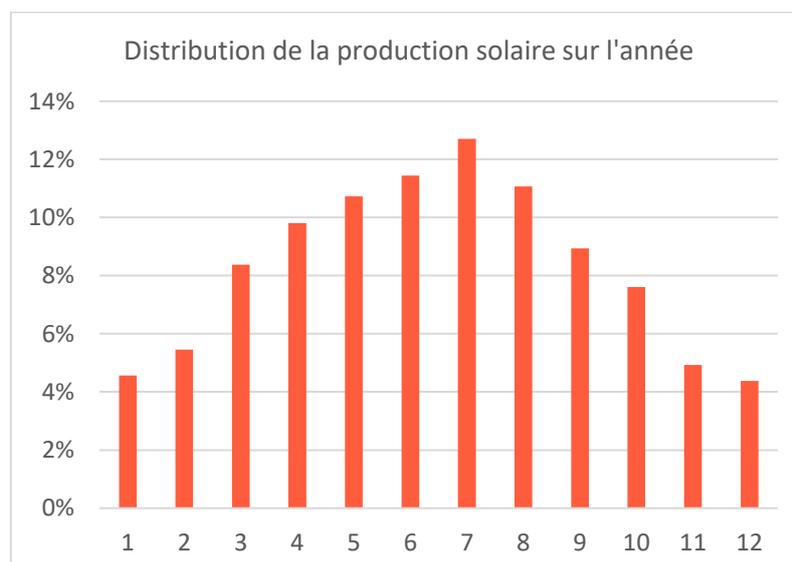
Le tableau suivant donne la productibilité annuelle des différentes implantations :

Productibilité annuelle	Electricité (kWh/kWc)	Chaleur (kWh/m ²)
Capteurs en toiture	1 342	490

La production photovoltaïque (maximale théorique en toiture) est estimée à 1 307 MWh/an

Point de vigilance :

La production solaire annuelle suit la répartition suivante. :



Le stockage inter saisonnier de l'énergie thermique pour des logements n'est pas encore viable sur le plan technico-économique. Si la production journalière excède la consommation journalière de chaleur, il y a un risque de surchauffe du fluide caloporteur et donc de dégradation de l'installation.

La production solaire est maximale en juillet. En supposant que l'installation soit dimensionnée afin d'obtenir un taux de couverture de 100% des besoins ECS en juillet, le taux de couverture global annuel serait de 60%.

Dans nos calculs, nous plafonnerons donc la production solaire à 60% des besoins en ECS soit **79 MWh/an** à l'échelle de la zone étudiée.

8.2. Production de chaleur par géothermie

Pour avoir des données précises sur le potentiel géothermique du site, la réalisation de forages est nécessaire.

Un forage est donc réalisé dans le cadre de l'opération de construction du lycée de Cournonterral, dont les résultats affirment la possibilité potentielle de l'exploitation du gisement présent sur site.

L'exploitation de l'énergie géothermique fait appel à une pompe à chaleur (PAC) sur sol ou sur nappe. Le coefficient de performance de ce type de système est d'environ 3,5 c'est-à-dire que pour 1 kWh consommé, 3,5 sont restitués.

8.3. Production de chaleur par Aérothermie

L'aérothermie exploite la chaleur contenue dans l'air et implique le recours à une pompe à chaleur air/eau. Le coefficient de performance de ce type de système est d'environ 2,7 c'est-à-dire que pour 1 kWh consommé, 2,7 sont restitués.

8.4. Production de chaleur par Bois énergie

Suivant la technologie utilisée (poêle à bois, chaudière) et le type de combustible la couverture des besoins varie.

Le dimensionnement des chaufferies en cascade (répartition de la puissance maximale nécessaire sur plusieurs chaudières) permet d'atteindre un taux de couverture de 100% pour toute chaufferie biomasse bien que pour une chaufferie bois déchiqueté, l'optimum technico-économique se situe autour de 80% en associant une chaudière bois déchiqueté (base) et une chaudière gaz (appoint et secours).

8.5. Synthèse

Le tableau suivant présente les taux de couverture atteignables par les ENR étudiées pour les niveaux RT 2012 et passif :

ENR		Taux de couverture moyen par les ENR RT2012				Taux de couverture moyen par les ENR PASSIF			
Technologie	Caractéristiques	Productible MWh/an	Chaleur	Electricité	Total Energie	Productible	Chaleur	Electricité	Total Energie
Panneaux Solaire thermique	Inclinaison 30° Orientation: S-E	79	22%	0%	12%	51	18%	0%	8%
Panneau Solaire photovoltaïque	Inclinaison 30°, plein Sud Sans éclairage public	554	0%	158%	76%	554	0%	196%	107%
Panneau Solaire photovoltaïque	Inclinaison 30°, plein Sud Avec éclairage public	554	0%	148%	74%	554	0%	181%	102%
Chaufferie bois granulés		282	80%	0%	41%	190	80%	0%	37%
PAC géothermique	COP 3,5	271	77%	0%	40%	183	77%	0%	35%
PAC eau	COP 2,7	215	63%	0%	33%	176	74%	0%	34%
Récupération d'énergie eaux	en pied d'immeuble 30% d'énergie récupérée	39	11%	0%	6%	25	11%	0%	5%

- Aucune source d'énergie renouvelable ne permet à elle seule de couvrir la consommation totale d'énergie des bâtiments. La création d'un quartier à énergie positive au sens [énergie consommée < énergie produite] ne pourra donc se faire qu'à partir d'un mixte énergétique ou en réduisant de manière drastique les consommations du quartier.
- Les productions solaires et photovoltaïques considèrent que tous les capteurs sont orientés Sud avec une inclinaison de 30° ce qui ne sera probablement pas le cas à l'échelle de la zone en fonction du découpage parcellaire et de l'implantation des bâtiments.
- Le bilan annuel de la production photovoltaïque >100% **ne signifie pas que la zone peut s'affranchir du réseau électrique (autonomie).** En effet il s'agit d'un bilan production/consommation annuel. La production solaire thermique est inégalement répartie sur l'année (plus forte production en été qu'en hiver).

Pour réduire considérablement les consommations, il faudra fixer un cahier des charges contraignant pour les concepteurs, sensibiliser et accompagner éventuellement les usagers des bâtiments.

9. Phase 4 : Etude de l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables

Après avoir estimé les consommations énergétiques attendues sur l'ensemble du quartier, il convient d'étudier l'approvisionnement en énergie qui permettrait de répondre à ces besoins.

Nous avons donc étudié 5 scénarios, pour chaque scénario de performance énergétique.

Ces scénarios sont pragmatiques et s'appuient sur des solutions techniques éprouvées.

Le tableau suivant décrit les scénarios étudiés :

	Chauffage	Production d'ECS	Remarque
S0 : Gaz	Gaz naturel	Solaire/Gaz Naturel	Afin de satisfaire les exigences de la RT2012, les logements sont équipés d'un mini kit PV permettant de produire 5kwh EP/m².an
S2 : PAC air/eau	Pompe à chaleur air/eau	Pompe à chaleur air/eau	
S3 : Géothermie	Géothermie	Géothermie	
S4 : Bois granulés	Bois	Bois (collectifs) Electrique (individuels)	Chaufferie collective granulés logements individuels : Poêle à bois (70%) + appoint électrique 30%

NB : pour les bâtiments de logements collectifs (en l'occurrence l'internat) les solutions étudiées sont systématiquement en chaufferie collective.

L'étude de ces scénarios à l'échelle du quartier va permettre de les comparer sous l'angle :

- Des consommations en énergie finale
- De l'impact environnemental (émissions de CO₂)
- Du coût de fonctionnement la première année : les coûts sont globalisés à l'échelle du quartier et intègrent les abonnements.

9.1. Comparaison des consommations en énergie finale

Les graphiques suivants permettent de comparer, pour chaque scénario, la consommation en énergie finale attendue sur le site :

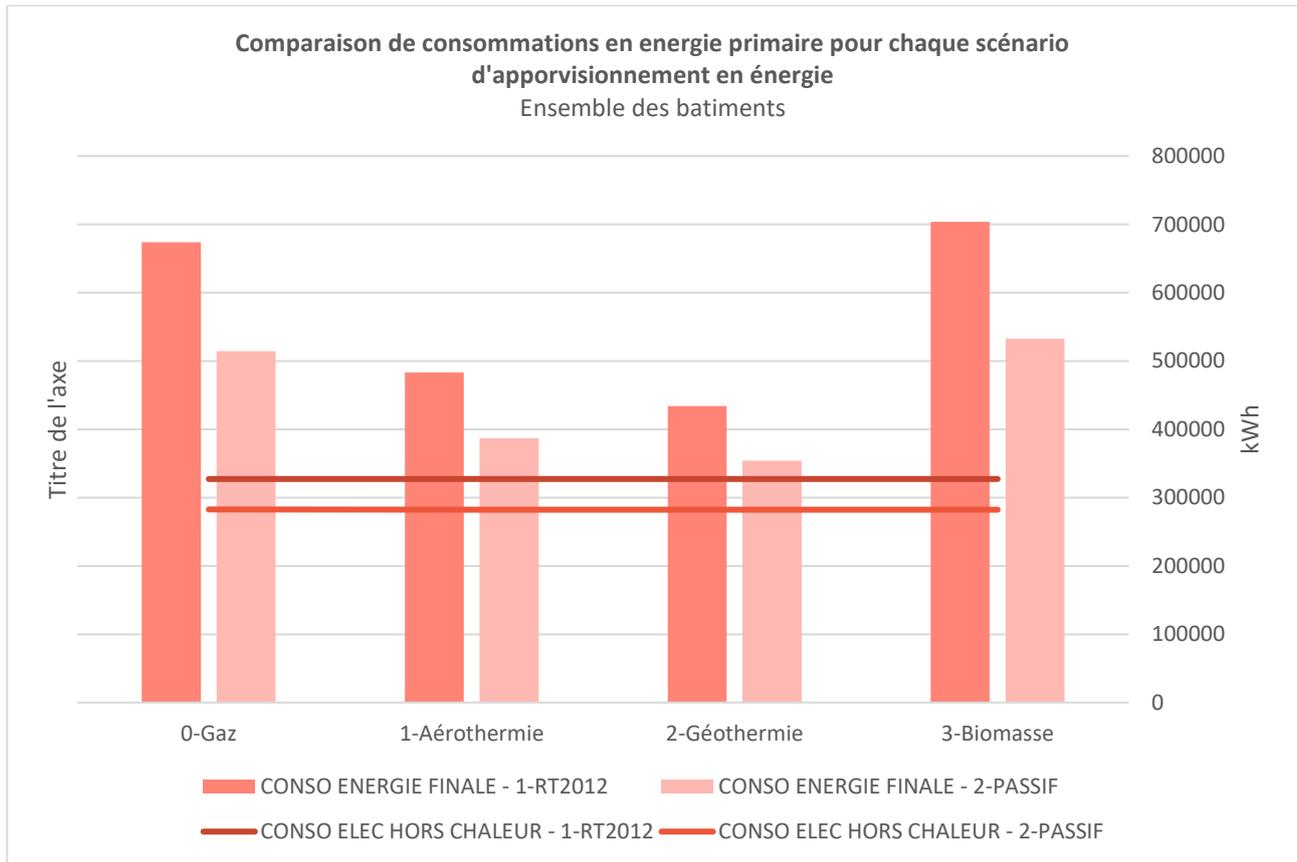


Figure 35 : Comparaison de la consommation d'énergie finale du projet par scénario d'alimentation énergétique

Cette consommation d'énergie est modulée par rapport aux besoins **676 500 MWh/an (RT2012)** et **517 700 MWh/an (Passif)** calculées en Phase 2 de la présente étude. En effet, ces scénarios d'alimentation en énergie intègrent de l'énergie gratuite (solaire, énergie du sol), des notions de rendement ou d'appoint.

Les scénarios 1-Aérothermie PAC air/eau et 2-Géothermie présentent les meilleurs bilans de consommation en énergie finale car ils utilisent l'énergie gratuite du sol ou de l'air pour la production de chauffage et d'ECS.

Le scénario Bois granulé ne bénéficie d'aucun apport « gratuit » et le rendement des chaudières bois granulé (90%) est moins bon que celui des chaudières gaz (105%). Ainsi le bilan de consommation en énergie finale est le plus élevé [5%]. Toutefois il s'agit d'une énergie locale et renouvelable à la différence du gaz.

Ces comparaisons montrent qu'à niveau de besoin identique, **les bilans énergétiques annuels peuvent varier jusqu' à -40% en fonction des systèmes énergétiques installés.**

Au-delà des consommations d'énergie finale, il importe de s'intéresser à d'autres facteurs qui vont avoir un impact dans les choix stratégiques d'alimentation énergétique : **les coûts de fonctionnement, l'impact environnemental et la cohérence avec la politique énergétique de la région.**

Nota :

En intégrant l'énergie primaire, l'intérêt des systèmes thermodynamique est moins pertinent contrairement aux systèmes solaires thermiques qui ne consomment pas d'énergie primaire.

9.2. Comparaison des coûts de fonctionnement actualisés sur 20 ans

L'étude des coûts de fonctionnement la première année ne reflète pas les évolutions futures du prix des énergies, notamment la forte inflation des énergies fossiles. C'est pourquoi nous étudions les coûts de fonctionnement sur 20 ans (durée de vie moyenne des systèmes de production de chauffage et d'ECS) en intégrant les coûts de maintenance annuels et en appliquant des taux d'inflation.

Les différents systèmes énergétiques présentés ci-dessus se caractérisent par des coûts d'investissement, de maintenance et d'énergie très hétérogènes. Il convient donc d'avoir une approche économique en coût global.

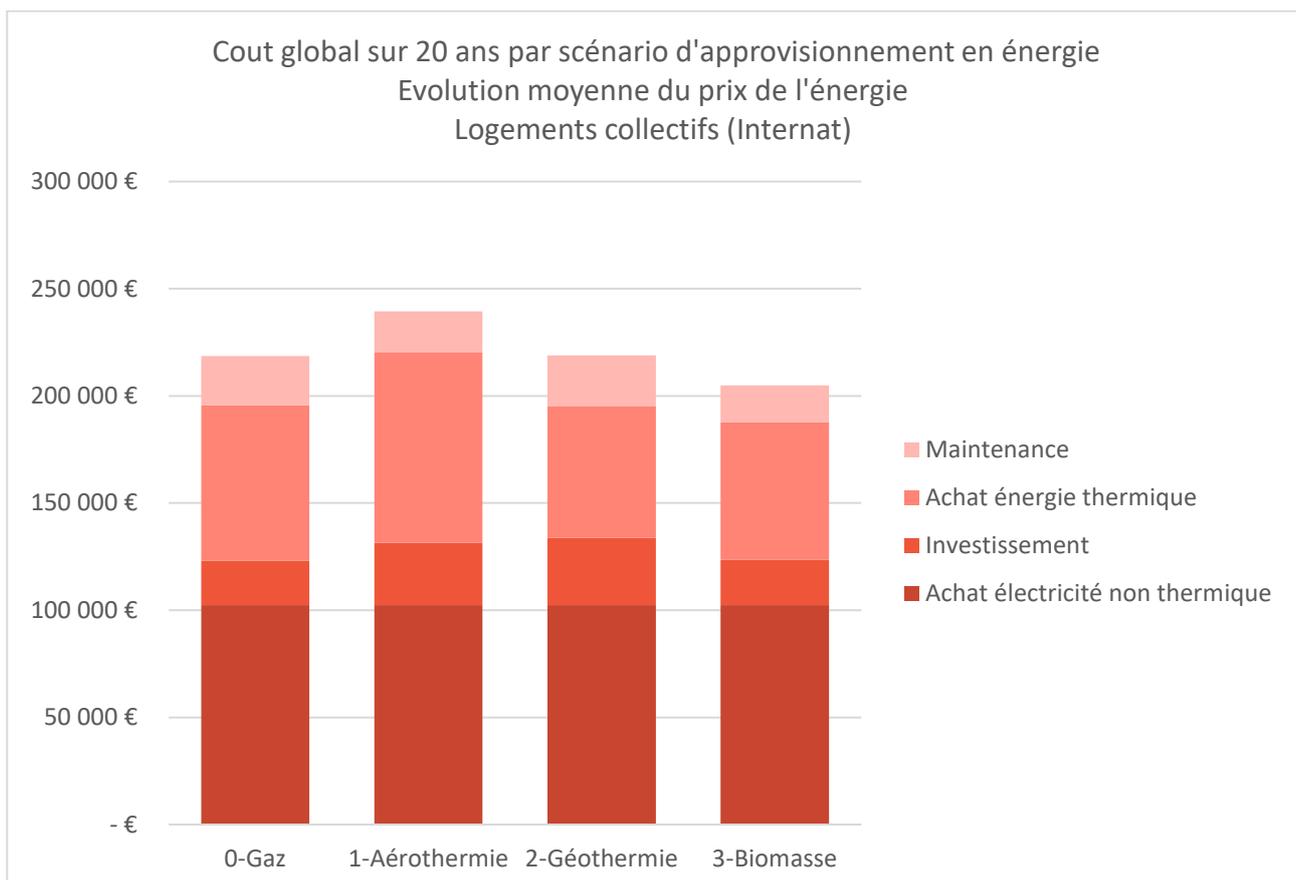
Avertissement : l'objet de ce paragraphe n'est pas de permettre d'obtenir une indication précise du coût réel mais de faciliter l'appréhension d'un ordre de grandeur de l'écart de coût entre chaque scénario d'approvisionnement en amont d'un projet. Le coût réel dépend de nombreux paramètres propres à chaque situation. Les résultats sont à interpréter avec la plus grande prudence.

- Hypothèse de taux d'inflation :

Taux d'inflation	
Energie fossile	8%
Electricité	6%
Bois	4%
Maintenance	2%

- Logement collectif**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement initial, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour le logement collectif prévu (internat) de 1470m² Su en moyenne :

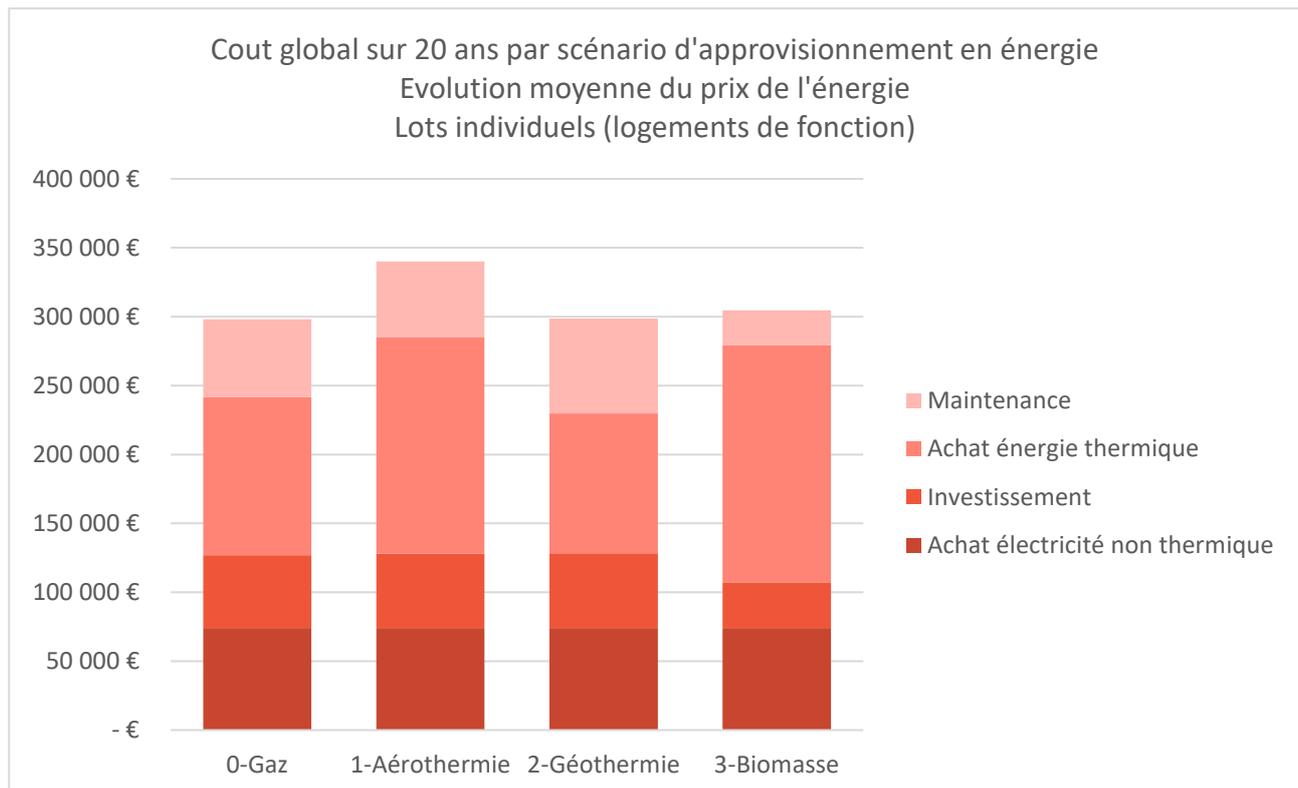


- L'électricité (non thermique notamment) représente la part la plus importante des coûts de fonctionnement.
- Le scénario biomasse granulés représente le meilleur bilan économique de l'ensemble des scénarios.
- Le scénario Gaz présente ensuite le deuxième meilleur bilan économique.
- Les scénarios utilisant des pompes à chaleur sont un peu pénalisés par les coûts d'investissement du matériel.
- La géothermie permet des équipements plus performant que l'aérothermie, donc des coûts d'achat d'énergie moins importants.

NB: les taux d'inflation considérés peuvent changer les conclusions. Un taux d'inflation plus important de l'électricité pénaliserait les scénarios 100% électriques des PAC.

- Logement individuel

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement initial, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour un lot de plusieurs logements individuels de 1280 m² Su totale en moyenne :

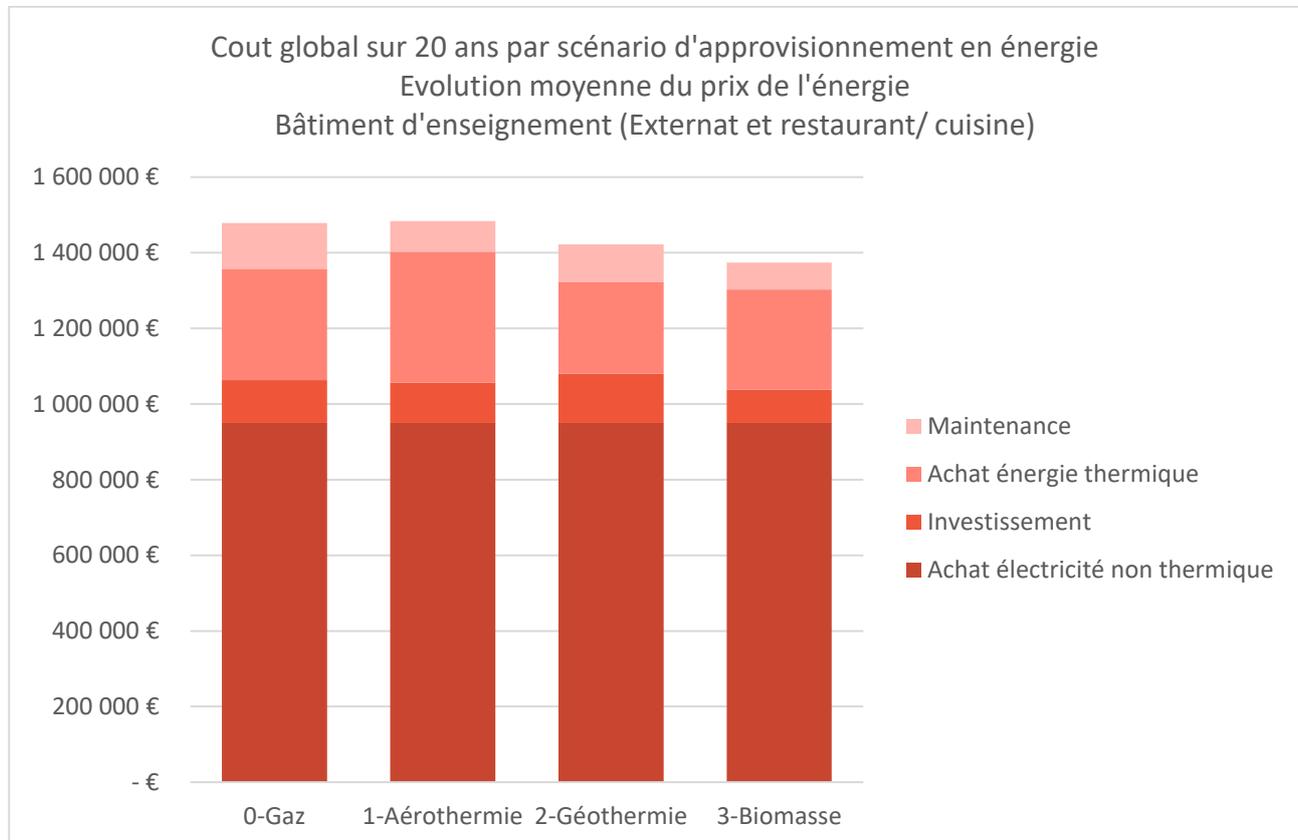


- L'achat d'énergie thermique présente la part la plus importante des coûts de fonctionnement.
- Vu les rendements obtenus par les chaudières bois, le scénario Biomasse présente le coût d'achat d'énergie le plus haut des 4 scénarios.
- Le scénario avec PAC aérothermie présente le deuxième plus impactant en termes d'achat de l'énergie. A noter que le coût d'achat représente ici le prix du P1 mais aussi le coût de l'abonnement.
- La solution PAC aérothermie est la plus défavorable en raison d'un investissement élevé et d'une énergie onéreuse
- La solution chaudière gaz individuelle ne permet pas de réaliser des économies d'échelles. Chaque logement doit payer son abonnement au réseau de gaz, l'investissement et la maintenance de sa chaudière. Le passage en semi-collectif dans la mesure du possible pourrait donc être une meilleure solution.

NB: les taux d'inflation considérés peuvent changer les conclusions. Un taux d'inflation plus important de l'électricité pénaliserait les scénarios 100% électriques des PAC.

- **Bâtiment tertiaire (Externat enseignement + cuisine)**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour une maison de 8650 m² Su :

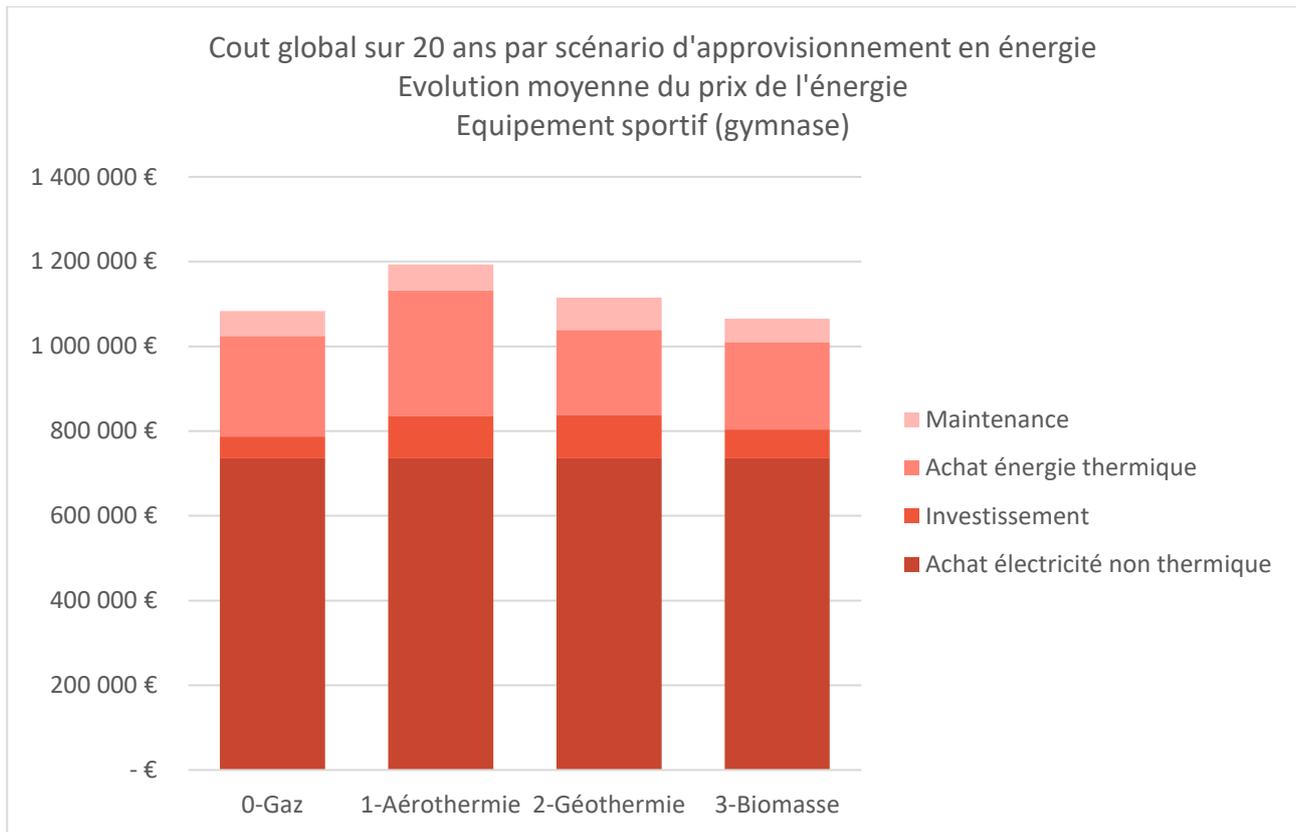


- L'électricité spécifique (non thermique) représente largement la part la plus importante des coûts de fonctionnement.
- Le scénario biomasse présente le meilleur bilan économique, suivi par le scénario géothermie.
- Les scénarios Gaz et Aérothermie présentent ensuite les 2 scénarios ayant un bilan économique moins bon.
- Le coût d'achat d'énergie reste déterminant pour cette typologie également. Le scénario le plus impactant est celui avec des PAC air/eau.
- Le Scénario Géothermie est pénalisé par le coût d'investissement vu le nombre potentiel de sondes géothermiques à mettre en place en vue de la surface utile à traiter.
- Les coûts de maintenance les plus élevés sont présentés par le scénario Gaz vu le gros entretien/renouvellement assez impactant à faire à moyen terme.

NB: les taux d'inflation considérés peuvent changer les conclusions. Un taux d'inflation plus important de l'électricité pénaliserait les scénarios 100% électriques des PAC.

- **Equipements sportifs**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour un commerce de 159m² SDP :



- L'électricité spécifique (non thermique) représente largement la part la plus importante des coûts de fonctionnement.
- Le scénario biomasse présente toujours le meilleur bilan économique, suivi par le scénario Gaz et Géothermie ensuite.
- Le scénario Aérothermie présente ensuite le scénario ayant un bilan économique moins bon.
- La solution PAC aérothermie est la plus défavorable en raison d'un investissement élevé et d'une énergie onéreuse
- En vue de la surface utile et du type d'usage de cette typologie de bâtiment, les coûts de maintenance sont relativement équivalents.

NB: les taux d'inflation considérés peuvent changer les conclusions. Un taux d'inflation plus important de l'électricité pénaliserait les scénarios 100% électriques des PAC.

9.3. Comparaison des émissions de gaz à effet de serre

L'impact sur l'effet de serre de l'opération peut être déterminé en calculant les quantités équivalentes de CO₂ émises par les bâtiments en fonction des énergies utilisées. Les hypothèses permettant de calculer les émissions de CO₂ sont détaillées en Annexe.

Le graphique suivant compare par usage et pour chaque scénario les émissions annuelles de CO₂ évaluées selon nos hypothèses pour l'ensemble des logements de la ZAC :

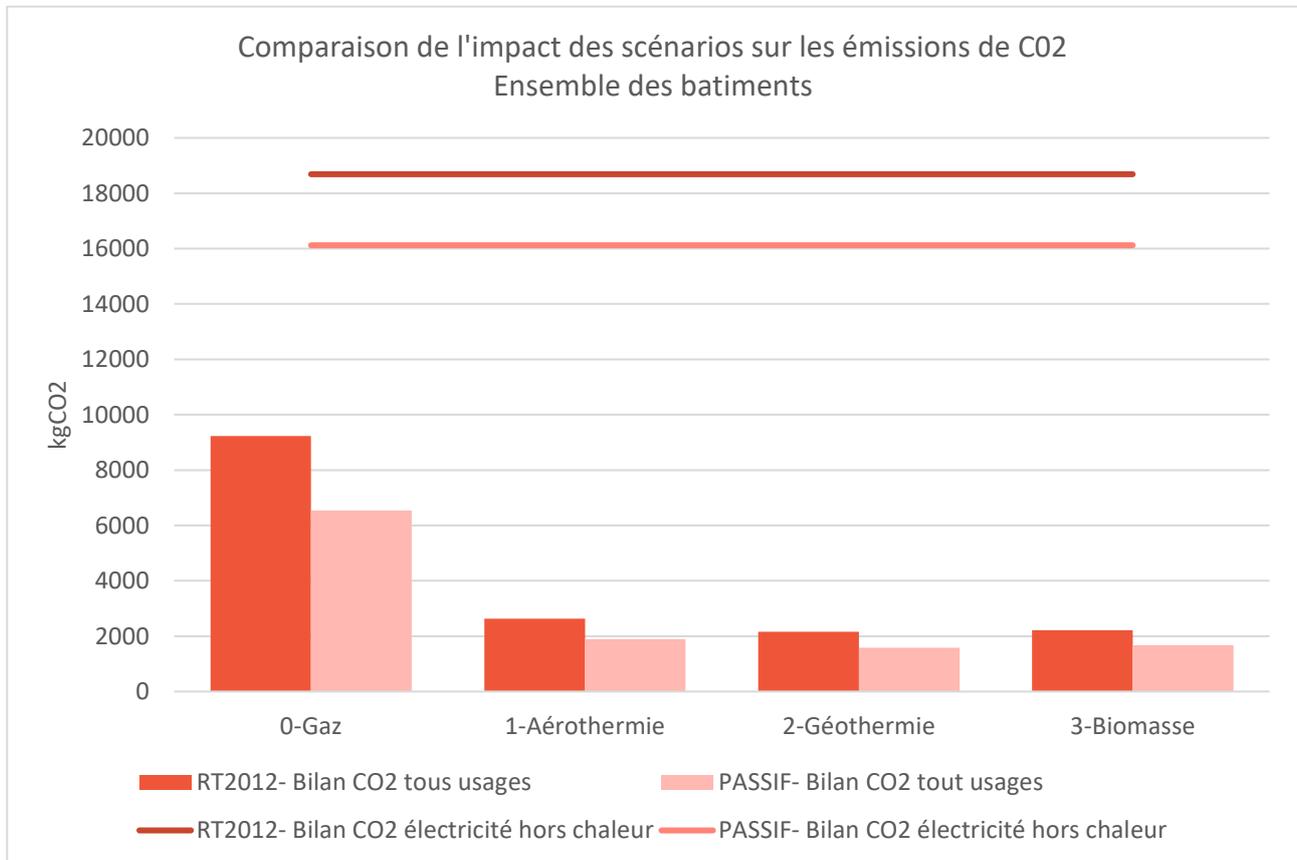


Figure 36: Emissions de CO₂ du projet

Le scénario de référence au gaz émettrait **16 120 t de CO₂/an** pour un niveau RT 2012 et **6 548 t de CO₂/an** pour un niveau passif pour l'ensemble des bâtiments de la zone selon nos hypothèses.

Les scénarios 1, 2 et 3 sont très performants du point de vue de la réduction des émissions de gaz à effet de serre en permettant de réduire les émissions jusqu'à 75% par rapport à la référence.

Il est important de préciser que cette approche n'inclut pas l'impact sur l'effet de serre des éventuelles fuites de fluide frigorigène des pompes à chaleur pour les scénarios 2 et 3. Certains fluides frigorigènes ont un pouvoir de réchauffement climatique plus de 4 000 fois supérieure à celui du CO₂ !

9.4. Synthèse de l'analyse des scénarios d'approvisionnement en énergie

Les résultats des approches énergétiques, économiques environnementales et en lien avec le contexte régional sont synthétisés de manière qualitative dans le tableau ci-dessous.

Le code couleur traduit la réponse du scénario aux critères proposés.

Aucune source d'énergie renouvelable ne permet à elle seule de couvrir la consommation d'électricité totale des bâtiments.

Ainsi, les Scénarios 3 (Géothermie) et 4 (bois granulés) présentent une réponse aux critères d'analyse plus adaptée, mais aucun scénario ne se détache particulièrement par rapport aux autres.

	Faible consommation en énergie finale	Coût global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Taux d'utilisation d'ENR
S0- Gaz	Red	Yellow	Red	Red
S2- Aérothermie	Yellow	Red	Green	Green
S3- Géothermie	Green	Orange	Green	Green
S4- Biomasse	Yellow	Green	Green	Green

Figure 37 : Evaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critère environnementaux et économiques



10. Phase 5 : Etude d'opportunité de création d'un réseau de chaleur alimenté par les ENR

L'un des objectifs de l'étude est de vérifier la possibilité de création ou de raccordement à un réseau de chaleur ou de froid.

Dans le cas où aucun réseau de chaleur ou de froid n'existe à proximité du site d'étude, nous remplaçons systématiquement ce volet par une **étude d'opportunité sur la création de réseaux de chaleur biomasse, à l'échelle de l'opération ou en micro-réseaux localisés.**

Aucun réseau n'existe actuellement sur le site, il ne s'agira donc pas d'un potentiel de raccordement mais d'une création. De même, les besoins de froid étant inexistants, aucun réseau de froid ne sera intégré dans l'étude.

La fiche réseau de chaleur en annexe rappelle la définition du réseau de chaleur, ses avantages et sa prise en compte dans le calcul thermique réglementaire (RT 2012).

Un réseau de chaleur est un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur à plusieurs bâtiments pour répondre aux besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire.

Intérêts en milieu rural et en milieu urbain peu dense :

De plus en plus de collectivités souhaitent développer ces réseaux de chaleur, même dans un contexte urbain peu dense.

L'optimisation énergétique n'est alors pas le premier facteur décisionnel.

L'aménagement du territoire, la mobilisation de ressources locales comme le bois énergie, la mise en place de filières économiques locales créatrices d'emploi de proximité et non délocalisables sont quelques-uns de ces facteurs.

Outre la mobilisation d'énergies renouvelables, un autre avantage technique peut être identifié : la mise en place d'un système centralisé évite la dispersion de générateurs de chaleur dont l'entretien, la fiabilité, et donc l'impact environnemental sont toujours moins maîtrisés qu'un système centralisé.

La mise en œuvre de systèmes centralisés permet également d'envisager plus sereinement une mutation énergétique.

10.1. Etude d'opportunité d'un réseau de chaleur sur le secteur

L'un des objectifs de l'étude d'opportunité est de vérifier la possibilité de création ou de raccordement à un réseau de chaleur ou de froid, notamment bois.

Les objectifs de cette étude d'opportunité sont donc les suivants :

- ✓ définir les zones où une étude de faisabilité technico-économique serait à mettre en œuvre pour confirmer l'opportunité identifiée ;
- ✓ définir d'éventuelles incitations ou obligations de mise en œuvre de l'énergie bois dans le règlement de la ZAC

Pour cette étude, nous n'avons considéré que l'opportunité d'un réseau de chaleur fonctionnant au bois car cette filière est bien structurée en Occitanie, et plusieurs retours d'expérience existent à ce sujet à l'échelle de l'Hérault et des départements limitrophes.

- Sur ce site, la création d'une chaufferie centralisée pour alimenter des blocs de de bâtiments collectifs serait justifiée.
- On distingue 2 blocs potentiels : bloc lycée + internat et bloc logements de fonction.
- La création d'un réseau de chaleur plus étendu ne serait pas pertinente en raison de la faible densité thermique.

10.3.2. Conclusion :

La pertinence de création de micro-réseaux de chaleur est incertaine en raison des faibles besoins liés aux exigences de performances énergétique et à la densité des constructions. Toutefois pour les logements collectifs et semi-collectifs, la pertinence économique d'une production centralisée de chaleur se vérifie et permet une évolutivité de la gestion énergétique (smartgrid/ évolution vers des solution plus performantes ...) à l'échelle des secteurs. A contrario, l'installation de chaudières gaz individuelles enferme les logements dans cette logique de production de chaleur.

11. Phase 6 : Pistes de mesures compensatoires

11.1. Principe de la compensation carbone

L'usage des énergies renouvelables en substitution des énergies fossiles, parallèlement à l'effort collectif de réduction de la consommation énergétique, contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le recours aux énergies renouvelables est une des solutions permettant de réduire l'impact sur l'effet de serre des besoins en énergie : **la réduction drastique de ces besoins en énergie reste néanmoins prioritaire.**

H3C propose ici une démarche parallèle à la réduction des consommations énergétiques et au développement des énergies renouvelables : le principe de compensation. **Ces pistes ont vocation à faire avancer la réflexion et ne doivent pas être considérées comme des prescriptions.**

Cette démarche est présentée ici comme une piste permettant de compenser partiellement une pollution résultante d'une nouvelle opération urbaine : elle ne doit pas être considérée comme un droit à polluer ni comme une compensation permettant de se « donner bonne conscience ».

Cette démarche, peut s'envisager de deux manières :

- Compensation via un mécanisme financier
- Compensation via des actions locales

11.2. Compensation carbone volontaire

Une démarche parallèle à la réduction des consommations énergétiques et au développement des énergies renouvelables est la **compensation carbone volontaire**.

L'Ademe a mis en place un site internet qui développe de manière complète le mécanisme de compensation carbone volontaire <http://www.compensationco2.fr>. La définition suivante est extraite de ce site :

*La compensation volontaire est un mécanisme de financement par lequel une entité (administration, entreprise, particulier) **substitue**, de manière partielle ou totale, une réduction à la source de ses propres émissions de gaz à effet de serre une quantité équivalente de « **crédits carbone** », en les achetant auprès d'un tiers.*

*Concrètement, la compensation consiste à **mesurer** les émissions de gaz à effet de serre générées par une activité (transport, chauffage, etc.) puis, après avoir cherché à **réduire** ces émissions, à **financer** un projet de réduction des émissions de gaz à effet de serre ou de séquestration du carbone : énergie renouvelable, efficacité énergétique ou de reboisement, qui permettra de réduire, dans un autre lieu, un même volume de gaz à effet de serre. Le principe sous-jacent étant qu'une quantité donnée de CO₂ émise dans un endroit peut être « compensée » par la réduction ou la séquestration d'une quantité équivalente de CO₂ en un autre lieu. Ce principe de « **neutralité géographique** » est au cœur des mécanismes mis en place par le Protocole de Kyoto.*

*Il est important de souligner que la compensation volontaire doit s'inscrire dans une **logique de neutralité carbone** : elle doit toujours accompagner ou suivre la mise en œuvre de solutions énergétiques alternatives ou d'efforts de **réduction des émissions**.*

Ainsi, la municipalité, l'aménageur, les promoteurs et maîtres d'ouvrages des opérations prévues, pourraient entrer dans ce processus.

11.3. Compensation carbone par des actions locales

Une piste complémentaire est d'envisager la mise en œuvre d'actions locales, permettant de prendre conscience du poids de mesures compensatoires locales telles que l'implantation de nouveaux boisements ou la mise en œuvre de capteurs photovoltaïques.

Ce sont ces actions que nous nous proposons de développer dans la partie suivante.

11.4. Proposition de mesures compensatoires :

11.4.1. Stockage de carbone : plantation de biomasse

11.4.1.1) Préambule

Le cycle du carbone implique la biomasse comme capteur de carbone par excellence : en effet, la photosynthèse permet aux plantes de capter du CO₂ le jour pour assurer leur croissance. De fait, la plantation de biomasse et notamment d'arbres est une piste permettant de stocker du carbone :

- **à long terme à l'échelle d'une vie humaine** puisque les arbres ont une durée de vie d'environ 80 ans dans le cadre d'une exploitation forestière ;
- **à très court terme à l'échelle de la planète** puisque la décomposition de la biomasse réalimente le cycle du carbone en libérant le CO₂ dans l'atmosphère ou en le restockant dans le sol.

Cette piste de réflexion, mise en avant par bon nombre d'organisations est même à l'origine d'une nouvelle activité économique : les entreprises de compensation carbone.

De nombreuses questions restent en suspens concernant le réel impact de telles solutions sur l'effet de serre :

- incertitudes sur les valeurs considérées pour le stockage de carbone en fonction des latitudes, des types de peuplement, des circonstances climatiques ;
- risque de stockage de CO₂ en cas de canicule par exemple ;
- adéquation des essences d'arbres à planter avec le contexte local (pas d'arbres très demandeurs en eau en Afrique par exemple).

Nous proposons donc une piste de compensation locale : plantation de biomasse géographiquement proche de l'opération concernée.

11.4.1.2) Hypothèses de calcul

Comme précisé plus haut, les données concernant la capacité de stockage de carbone diffèrent de manière importante en fonction des sources.

Nous nous sommes donc appuyés sur le projet CARBOFOR – Séquestration de carbone dans les écosystèmes forestiers en France-Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles- publié en 2004.

Nous considérerons **1 ha de forêt à croissance normale comme unité de référence sur sa durée de vie avec un objectif de valorisation en bois d'œuvre et bois énergie**. Le nombre de tiges à l'hectare est donc variable en fonction des opérations d'éclaircie que les forestiers sont amenés à réaliser pour conduire le peuplement dans de bonnes conditions.

La quantité de carbone stockable par un ha de forêt décrit ci-dessus s'échelonne de **1 à 10 tC/ha/an, soit de 3,6 à 36 tCO₂/ha/an**.

Nous avons considéré dans cette étude un **potentiel de stockage de 5 tC/ha/an soit 18,5 tCO₂/ha/an**.

11.4.1.3) Simulation de la surface boisée correspondante

Le graphique ci-dessous présente, pour chacun des trois scénarios, la surface boisée permettant de compenser les émissions annuelles de CO₂ générées par les logements de l'opération.

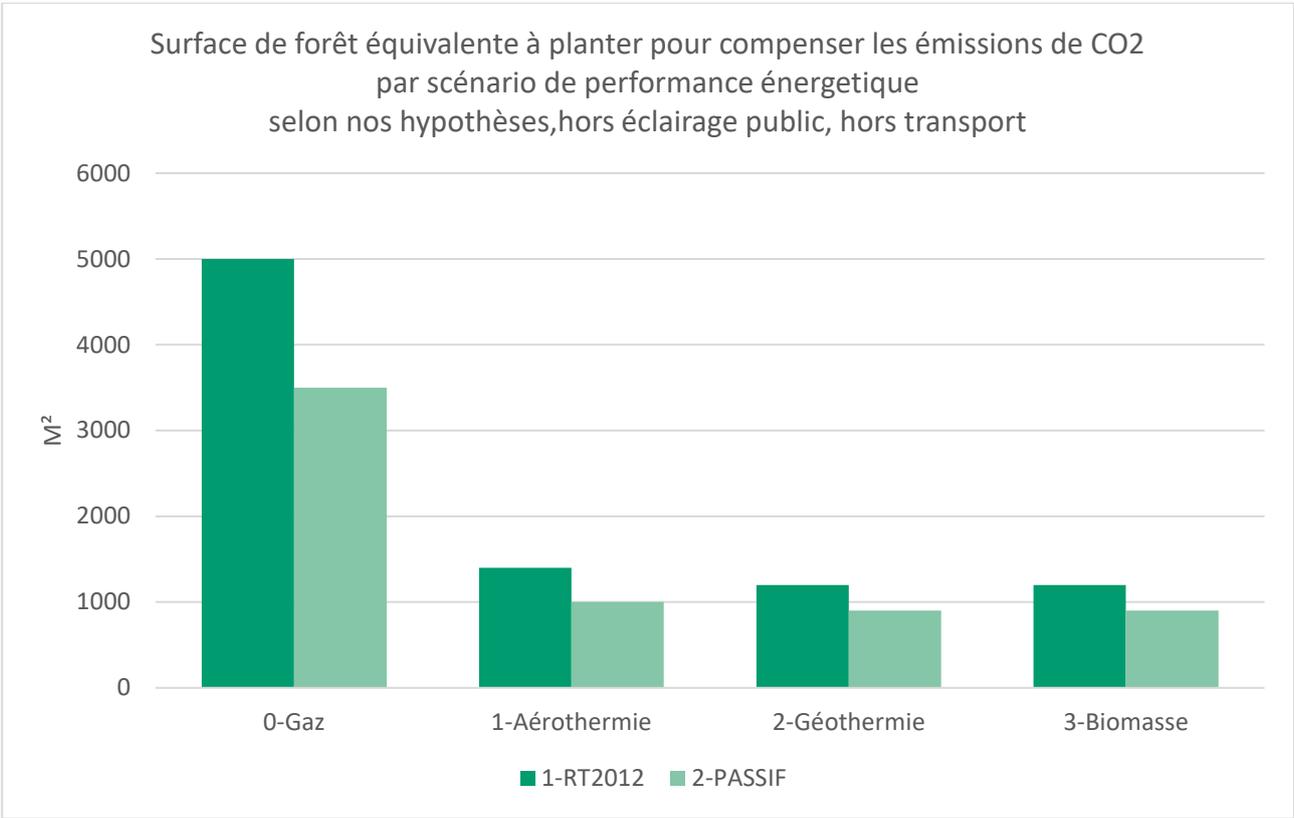


Figure 39 : Calcul de la surface boisée nécessaire en mesure compensatoire

Le scénario de référence nécessiterait donc, selon nos hypothèses, de 1 200 à 5 000 m² (0,50 ha) de forêt en mesure compensatoire pour le niveau RT 2012, de 900 à 3 500 ha pour le niveau PASSIF.

12. L'éclairage public

12.1. Rôles de l'éclairage public

En milieu urbain, l'éclairage public a plusieurs rôles :

- Paysager : perception de l'espace, continuité visuelle, esthétique, mise en valeur du patrimoine ;
- Ambiance lumineuse ;
- Guidage et confort visuel ;
- Sécurité des piétons, des automobilistes, des cyclistes et des biens

D'une manière plus générale, l'amélioration de la visibilité nocturne permet :

- de favoriser la sécurité des déplacements (piétons, cyclistes, véhicules à moteur) ;
- de diminuer l'éblouissement dû aux feux de véhicules ;
- d'améliorer l'estimation des distances ;
- de favoriser la sécurité des personnes et des biens ;
- de valoriser les espaces publics.

L'annexe 6 répertorie les textes qui régissent l'éclairage public ainsi que les grandeurs caractéristiques de l'éclairage et les différents types de lampe.

12.2. Enjeux pour un projet d'aménagement

Quatre grands enjeux peuvent être dégagés pour l'éclairage public :

- Sécurité et confort des usagés
- Réduction des consommations électriques
- Préservation de l'environnement et du ciel nocturne
- Réduction de la facture énergétique

En effet, l'utilisation excessive de la lumière artificielle pourra d'une part être importune (gêne visuelle à laquelle on ne peut se soustraire, halos lumineux, lumière intrusive dans les propriétés privées), d'autre part représenter une perte d'énergie que l'on peut facilement traduire en termes d'équivalents CO₂ consommés, et donc d'impact sur l'effet de serre.

L'éclairage public constitue un poste important dans le budget énergie d'une commune. En effet, selon l'ADEME, il représente, en moyenne :

- 48 % des kWh d'électricité consommés,
- 38 % de la facture totale d'électricité,
- 23 % de l'ensemble des dépenses énergétiques.

De plus, les charges de fonctionnement, de maintenance et d'entretien seront assurées par la collectivité.

Il importe donc d'anticiper les besoins et de réfléchir aux modalités d'éclairage public en amont de la création. Cela contribuera également à limiter les coûts de fonctionnement pour les collectivités.

Faire le choix de matériels performants, respectueux de l'environnement (une consommation énergétique et un flux lumineux maîtrisés) tout en apportant le niveau de service attendu, est devenu un enjeu majeur pour les communes.

12.3. Quelques préconisations

La qualité d'éclairage dépend plus de l'homogénéité (uniformité) que du niveau d'éclairement. Ainsi, une mauvaise uniformité de l'éclairage entraîne de l'inconfort visuel (zones d'ombres, moindre éclairement).

Les préconisations qui suivent n'ont pas vocation à être exhaustives mais à donner des pistes de réflexion que l'aménageur devra intégrer à son projet urbain afin que l'impact environnemental de l'opération relatif à l'éclairage public (impact visuel et impact énergétique) soit le plus faible possible.

L'objectif est d'éclairer juste, en maîtrisant la consommation d'énergie et limitant la pollution lumineuse.

1. Etat des lieux

Clarifier les besoins en matière d'éclairage des rues. Toutes les voies ne doivent pas forcément être éclairées selon les mêmes modalités.

- Définir la nécessité d'éclairer ou non les différents types de voies
- Repérer les secteurs sensibles à la pollution lumineuse (fort impact sur la biodiversité)
- Hiérarchiser les voies en fonction du besoin d'éclairage
- Définir le niveau d'éclairement nécessaire par type de voie
- Définir les horaires d'allumage et/ou de réduction de puissance

2. Points lumineux

Déterminer le nombre de points lumineux et la hauteur de mat adaptés au classement des voies et au contexte urbain

Augmenter de l'interdistance entre les mâts grâce à des optiques adaptées tout en conservant une bonne uniformité d'éclairage.

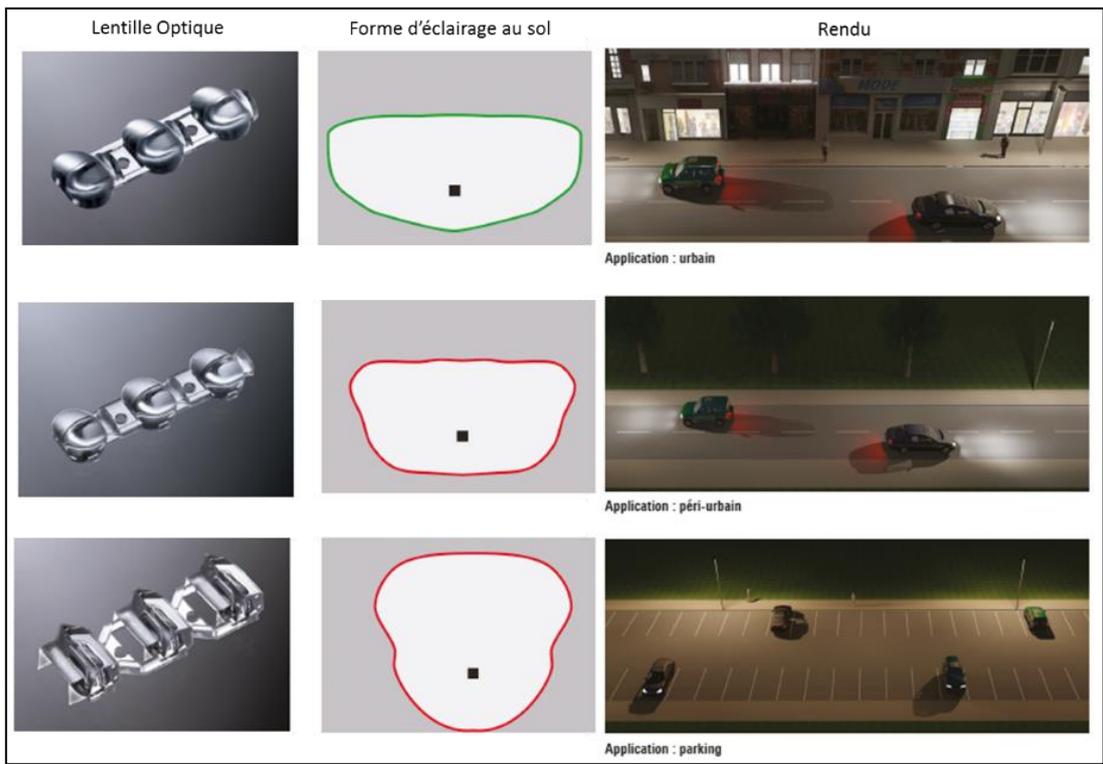


Figure 40: Exemple d'optiques (Source We-ef)

NB : le choix de l'optique permet également de limiter la lumière intrusive dans les propriétés privées.

3. Type de lampe

Choisir des lampes adaptées au besoin (Indice de rendu couleur, rendement, etc.). Utiliser des lampes basse consommation (à vapeur de sodium – de type Sodium HP ou d'autres lampes ayant un rendement d'éclairage aussi performant) ou des LED.

4. Luminaire

Utiliser des réflecteurs à haut rendement. Eviter toute émission lumineuse au-dessus de l'horizon (pollution lumineuse).

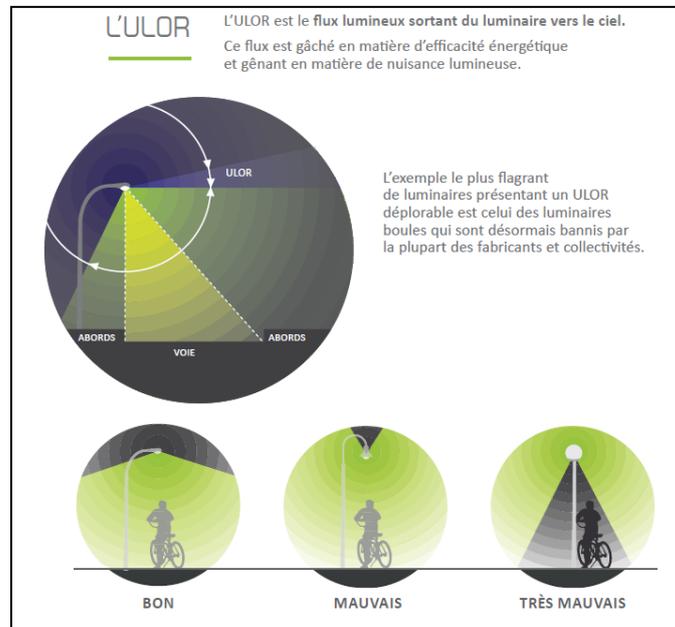


Figure 41: Illustration de l'ULOR (Source: Charte EP SDE35)

5. Lanternes

Choisir des type de lanterne qui facilité la maintenance (accessibilité) et préférer des lanternes recyclables

6. Ballasts d'allumage

Préférer les ballasts électroniques à longue durée de vie.

7. Puissance électrique spécifique

Définir des puissances limites en fonction de la largeur des rues et de leur importance, par exemple (à titre indicatif) :

- pour les rues d'une largeur de < 10 mètres : valeur cible : 2 W/m valeur limite : 3 W/m ;
- pour les rues d'une largeur de > 10 mètres : valeur cible : 4 W/m valeur limite : 6 W/m.

8. Heures de fonctionnement

Pose d'horloges astronomiques permettant l'extinction au cœur de la nuit (23h-6h) et l'allumage automatiques en fonction du lever et coucher du soleil.

Allumage le soir: quand la luminosité descend au-dessous de 40 lux pendant plus de 5 minutes.

Etude de dispositifs permettant la réduction de puissance de 22h-23h et 6h-7h : réduction de l'intensité lumineuse la nuit si une extinction n'est pas possible (variation de la puissance lumineuse ou extinction partielle).

9. Consommation d'énergie

Définir une valeur cible, par exemple : 8 kWh/m/an et une valeur limite haute, par exemple 12 kWh/m/an (kWh par mètre de rue et par an).

10. Electricité renouvelable

Couvrir avec de l'éco-courant certifié une part à définir du besoin en électricité pour l'éclairage public.

Assurer avec des lampadaires solaires l'éclairage de rues non électrifiées ou difficilement électrifiables.

11. Etablir un plan de maintenance

12. Faire réaliser une étude d'éclairage

12.4. Consommation énergétique attendue pour l'éclairage public

Deux hypothèses sont étudiées par rapport à l'éclairage public, la première avec un éclairage permanent (nuit complète) et la seconde avec une extinction nocturne de 22h30 à 6h.

Les tableaux ci-dessous détaillent les consommations énergétiques d'éclairage public attendues ainsi que les émissions de CO₂ qui y sont liées pour chaque hypothèse :

	Eclairage nuit complète	Extinction nocturne 22h30/6h
Linéaire de voirie (m)	1900	1900
Puissance KW	5,7	5,7
Temps de fonctionnement/an (h)	4100	1910
Consommation électrique MWh	23,5	11,0
Coût	2900	1812
Emission kg CO2	3,5	1,6

Pour un linéaire total estimé à **1900 m** de voiries éclairées, la consommation énergétique prévisionnelle serait de **23,5 MWh/an** en éclairage permanent et **11 MWh/an** avec une extinction nocturne.

L'extinction nocturne permet par ailleurs à la collectivité d'économiser environ 2000 euros/an.

NB : l'approche économique est délicate. Les systèmes évoluent très rapidement et il y a encore assez peu de retour d'expérience. Aujourd'hui, il est raisonnable de considérer une durée de vie supérieure à 50 000 heures, les opérations de remplacement sont donc moins fréquentes qu'avec des lampes traditionnelles. De plus, les nouvelles technologies de lampadaires à LED permettent d'espacer d'avantage les mâts par rapport aux systèmes classiques.

Pour plus d'informations :

Eclairons les villes : Accélérer le déploiement de l'éclairage innovant dans les villes européennes ; rapport de la commission Européenne téléchargeable sur le site <http://www.clusterlumiere.com>

13. 1ère approche sur les transports et l'énergie grise des matériaux

13.1. Transports

L'implantation du projet par rapport à la ville de Montpellier et celle de Cournonterral, aux zones d'activités commerciales, aux services (écoles, administrations), ou aux arrêts de transport en commun, va conditionner l'impact énergétique lié à l'usage de véhicules à moteur. De même, la facilité de relier les points d'activité cités plus haut grâce à des modes de déplacement doux (à pied, à vélo) aura une incidence sur l'usage de la voiture.

Le rôle de l'urbaniste est donc primordial pour optimiser les itinéraires des usagers afin de favoriser des modes de déplacement non polluants.

13.1.1.1) Pollution liée aux véhicules à moteur

Les véhicules motorisés sont sources d'émissions polluantes telles que des gaz à effet de serre (CO₂, CO...), du dioxyde de soufre (SO₂), des oxydes d'azote, des hydrocarbures et des particules.

Ces émissions entraînent des effets nocifs sur la qualité de l'air (pollution, effet de serre) et sur la santé (maladies respiratoires, allergies etc.).

Les caractéristiques des principaux polluants et quelques-uns de leurs effets sur la santé sont décrit en annexe.

De plus, les transports motorisés sont responsables de nuisances sonores et de danger qu'il est également important de réduire pour le confort des futurs habitants et des riverains.

13.1.1.2) Propositions pour limiter l'impact des transports

L'impact des transports peut être limité grâce aux mesures suivantes :

- Favoriser les liaisons douces pour permettre un usage de la marche à pied et du vélo dans les trajets quotidiens ;
- Favoriser la desserte par les transports en commun : position des arrêts, fréquence de passage adaptée aux besoins quotidiens ;
- Favoriser le co-voiturage ou l'acquisition de véhicules partagés ;
- Rapprocher les lieux d'habitat des lieux de travail ;
- Rapprocher les commerces et les services des lieux d'habitat ;
- Implanter les zones de stationnement collectif en périphérie de manière à limiter la circulation à l'intérieur du périmètre projet ;
- Limiter la circulation : zone piétons prioritaires, limiter les places de stationnement, création d'axes non traversants afin de ne pas inciter les non riverains à circuler dans la zone, limiter la vitesse.

13.1.1.3) Estimation des émissions annuelles domicile-travail

Le nombre de véhicule est conditionné principalement par le nombre d'usagers des bâtiments de la zone. Nous considérons un nombre total de **de 60 véhicules mobilisables.**

Les hypothèses de distances parcourues domicile-travail, issues de montpellier3m, sont estimées à 20 kms. Dans ces conditions, les émissions annuelles polluantes du parc automobile seraient les suivantes :

Hypothèses		
	Hypothèse	Unité
Nombre de voitures	60	Voitures
Distance moyenne domicile travail	20	Km
Jours travaillés/an	220	Jours
Part des trajets en voiture individuelle	95%	1
Emission CO2 du parc	130	gCO2/km
Consommation moyenne du parc	5,5	l/100km
Résultats		
Km parcours /an	501 600	km
Emission CO2	65	Tonnes
Consommation d'énergie MWh	251	MWh

Figure 42: Emissions CO2 du parc automobile de l'opération

Pour un nombre total de **60 véhicules particuliers**, les émissions annuelles dues aux transports seraient de **65 tonnes de CO₂**.

13.2. Energie grise des matériaux

L'énergie grise des matériaux représente l'énergie nécessaire à leur production, à leur transport, à leur mise en place et à leur recyclage ou destruction en fin de vie.

Les analyses de cycle de Vie (ACV) permettent de travailler sur ce paramètre. Ce chapitre a pour objectif de donner des pistes de réflexion au maître d'ouvrage pour favoriser l'usage de matériaux ou de procédés à faible énergie grise.

13.2.1. Matériaux de voirie

Il est difficile d'envisager de réduire l'énergie grise des matériaux de voirie puisque les solutions techniques font généralement appel à des liants :

- Hydrauliques, à base de ciment (nécessitant de la cuisson à haute température)
- Hydrocarbonés, issus du pétrole

Deux stratégies complémentaires peuvent néanmoins être engagées :

- **Réduire les surfaces de voirie** : en réalisant des voiries plus étroites, en réduisant le linéaire tout en favorisant les cheminements piétons moins exigeants en termes de matériaux (profondeur, densité)
- **Opter pour le traitement en place** : ce procédé permet, grâce à l'adjonction de chaux et de ciment suivis d'un compactage et de nivelage, de donner au sol existant des caractéristiques de voirie « classique ». Ce procédé permet d'éviter de terrasser et d'apporter des matériaux de carrière : ainsi, les déplacements des engins de chantier sont considérablement réduits, et par voie de conséquence la consommation de carburant fossile du chantier est fortement diminuée. Les sols limoneux et argileux se prêtent particulièrement bien à ces procédés. Une étude de sol pourrait permettre de confirmer l'intérêt pour le site.

Ces solutions sont à mettre en lien avec les préconisations relatives à la perméabilité des revêtements de sol pour favoriser l'infiltration des eaux pluviales.

13.2.2. Matériaux de construction

Les matériaux de construction à faible énergie grise ou biosourcés pourraient être privilégiés : cela implique la mise en place de prescriptions particulières dans le Cahier de Prescriptions architecturales, paysagères et environnementales. La provenance des matériaux peut également être un critère avec l'objectif de privilégier des matériaux locaux (nécessitant un moindre transport) ou d'éviter la déforestation des forêts primaires.

Lots de construction	Propositions
Couverture	Ardoises naturelles produites en France
Bois de charpente	Bois européen (pas de bois exotiques)
Isolant	Fibre de bois, fibres de chanvre, ouate de cellulose, fibres textiles recyclées, liège
Gros œuvre	Ossature bois ou maçonnerie à faible énergie grise, terre crue, paille
Menuiseries extérieures	Bois ou mixte bois/alu
Revêtements de sol	Caoutchouc, linoléum naturel, terre cuite

Figure 43 : Propositions pour le recours à des matériaux à faible énergie grise dans les bâtiments

Ces préconisations permettent généralement d'aller dans le sens d'une meilleure qualité de l'air intérieur si des prescriptions sur les niveaux de COV pour les colles, les solvants, les peintures y sont associées.

Il est possible de faire des choix objectifs grâce aux indications contenues dans les fiches FDES des matériaux disponibles sur la base de l'INIES (www.inies.fr).

14. Synthèse des avantages et contraintes des énergies renouvelables étudiées

Préconisations	Avantages	Contraintes	Impact environnemental
0- Solaire passif	Faible coût car intégré à la conception du bâtiment.	Favoriser une orientation nord/sud et prendre en compte les ombres portées.	Impact environnemental le plus faible : pas de technique, simplicité des principes, durabilité optimale car directement liée au bâti. Bilan comptable « négatif » sur la concentration en CO ₂ de l'atmosphère (au sens où l'utilisation de solaire « retire » du carbone – le bilan environnemental est donc positif).
1 - Solaire thermique	Permet de réduire la consommation d'énergie fossile de manière efficace. Positionnement clair vis-à-vis de l'extérieur (le solaire thermique se voit !).	Investissement parfois élevé, notamment sur les lots individuels. Etude spécifique sur les collectifs pour assurer un dimensionnement optimal.	Impact environnemental très faible de cette solution. Peu de consommation énergétique pour son fonctionnement, peu d'impact lié à la production des composants du système, durée de vie importante, proche de la durée de vie du bâtiment. Bilan comptable « négatif » sur la concentration en CO ₂ de l'atmosphère (au sens où l'utilisation de solaire « retire » du carbone – le bilan environnemental est donc positif).
2- Récupération d'énergie sur les eaux usées	Faible coût, installation simple	Production d'ECS collective	Bilan comptable « négatif » sur la concentration en CO ₂ de l'atmosphère (au sens où la récupération de chaleur « retire » du carbone – le bilan environnemental est donc positif).
3- Chaufferie bois collective	Chaufferie collective par bâtiment : fonctionnement et gestion mutualisés. Prix du bois moins inflationniste que celui du gaz. <u>Modulation du Cepmax de la RT 2012</u>	Surface nécessaire pour une chaufferie collective. Frais de maintenance plus élevés que le gaz.	Bilan comptable « neutre » sur la concentration en CO ₂ de l'atmosphère (la combustion du bois n'ajoute pas de carbone lorsque les forêts sont replantées, ce qui est le cas en France).
4 - Réseau de chaleur bois	Solution qui permet de produire la quasi-totalité des besoins en chauffage et ECS des bâtiments collectifs à partir d'énergies renouvelables. Prix du bois moins inflationniste que celui du gaz. <u>Modulation du Cepmax de la RT 2012</u>	Investissement plus lourd, organisation juridique à mettre en œuvre pour la répartition ou la revente de chaleur. Rentabilité à calculer dans le cadre d'une étude d'approvisionnement en énergie.	Bilan comptable « neutre » sur la concentration en CO ₂ de l'atmosphère (la combustion du bois n'ajoute pas de carbone lorsque les forêts sont replantées, ce qui est le cas en France).

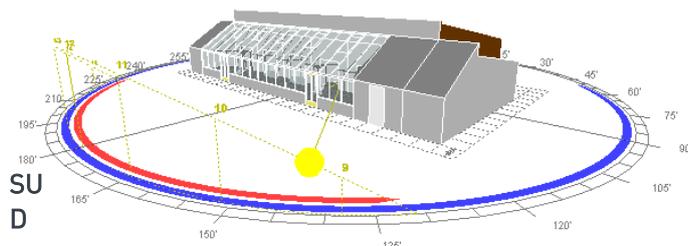
5 - Solaire photovoltaïque	Production d'énergie verte locale. Positionnement clair vis-à-vis de l'extérieur (le solaire photovoltaïque se voit !). Rentabilisation par le rachat de l'énergie.	Investissement important. Attention à ne pas négliger la performance énergétique des bâtiments au profit de l'investissement en photovoltaïque.	Réduction de l'impact environnemental de l'ensemble de l'opération par la production d'électricité verte.
6- PAC Géothermie	Récupération d'énergie dans le sol	Investissement important, forages	Réduction de l'impact environnemental de l'ensemble de l'opération par la récupération d'énergie. Impact négatif des fuites de fluides frigorigènes sur l'effet de serre Impact négatif sur la pointe de puissance électrique
7- PAC eau	Récupération d'énergie dans l'eau		Réduction de l'impact environnemental de l'ensemble de l'opération par la récupération d'énergie. Impact négatif des fuites de fluides frigorigènes sur l'effet de serre Impact négatif sur la pointe de puissance électrique
8- Micro éolien	Production d'électricité verte Visibilité	Investissement important, productivité dépendante du régime de vent et de l'exposition au vent, souvent faible en milieu urbanisé	Réduction de l'impact environnemental lié à la consommation d'électricité Diminution du Pic électrique

15. ANNEXES : FICHES TECHNIQUES sur les énergies renouvelables

15.1. FICHE Energie solaire généralités

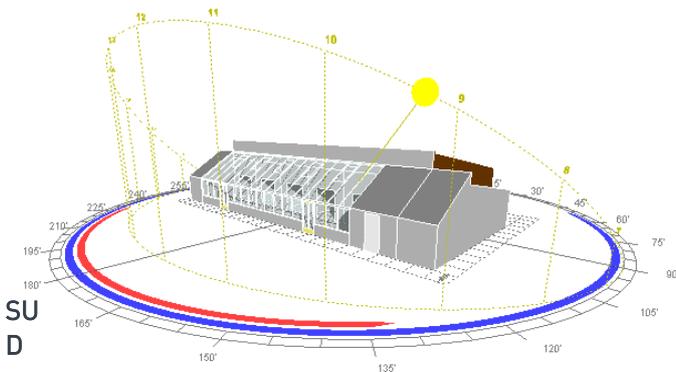
(a) Trajectoire du soleil au cours de l'année

La démarche d'optimisation des apports solaires nécessite la compréhension de la trajectoire du soleil dans le ciel, en fonction des saisons. Les figures suivantes illustrent 3 trajectoires correspondant à l'hiver à la mi-saison et l'été.



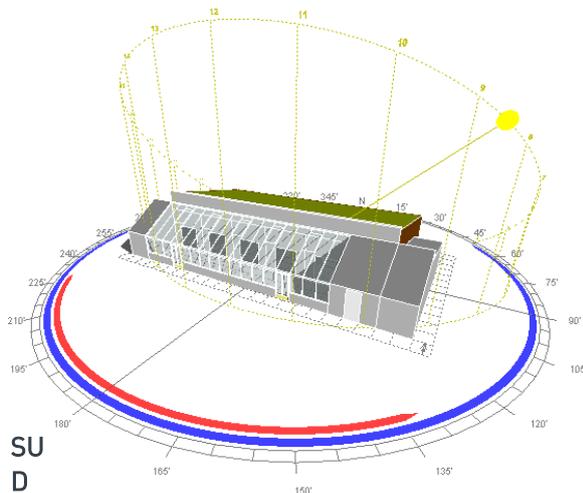
Hiver

Trajectoire courte et basse sur l'horizon. Le soleil se lève au Sud-Est, se couche au sud-ouest



Mi-saison

Trajectoire longue et plus haute dans le ciel: le soleil se lève à l'Est, se couche à l'Ouest



Eté

Trajectoire longue et très haute dans le ciel: le soleil se lève au Nord-Est, se couche au Nord-Ouest.

(b) Conséquences pour les apports solaires

Ces conséquences sont étudiées du point de vue d'un exemple très simple de bâtiment parallélépipédique, pour illustrer l'impact de l'orientation des façades principales sur les apports solaires dont va bénéficier le bâtiment.

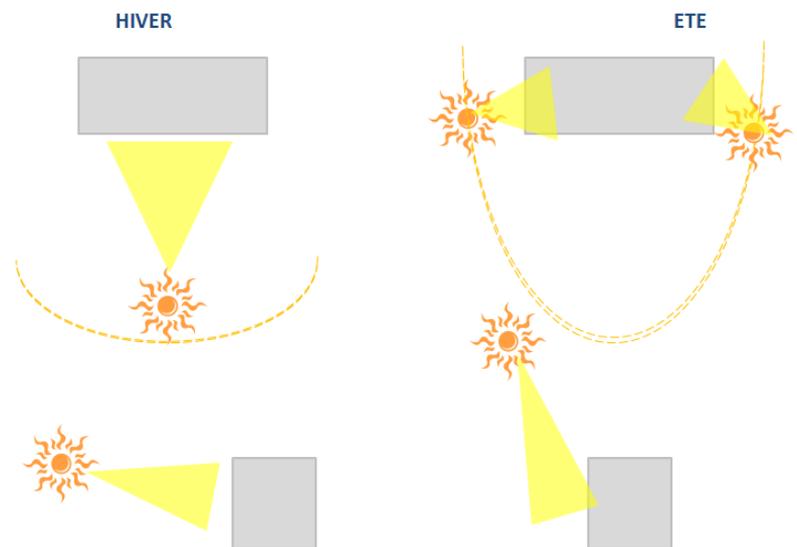
Il est évident que la réalité est toujours plus nuancée car l'architecte ne conçoit pas des bâtiments uniquement parallélépipédiques, ni orientés strictement Nord-Sud ou Est-Ouest.

Mais il est important de garder à l'esprit les grands principes présentés ci-dessous dès la phase de conception d'une opération d'aménagement.

BATIMENT DONT LES FAÇADES PRINCIPALES SONT ORIENTEES AU SUD

Les schémas ci-dessous montrent qu'avec des façades principales orientées au Sud :

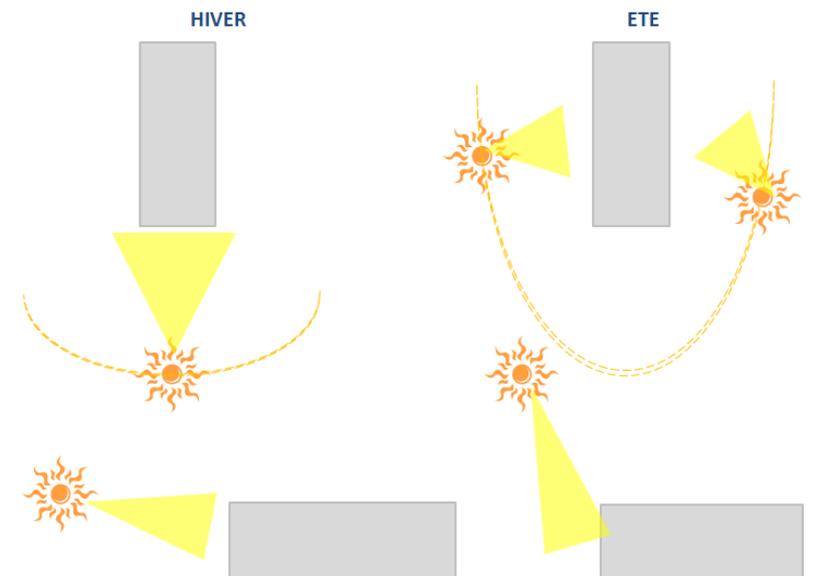
- en hiver : le bâtiment **profite d'apports solaires gratuits**, car le **soleil est bas sur l'horizon** avec un rayonnement incident proche de l'horizontal, qui pénètre donc facilement par les vitrages ;
- en été : **les apports solaires directs au Sud sont limités** car le soleil est très haut dans le ciel, une simple casquette horizontale permet de s'en protéger complètement ;
- en été : **le bâtiment évite les apports solaires trop importants par les façades Ouest et Est**, lorsque le développement de ces façades n'est pas trop important, ce qui limite les risques de surchauffe.



BATIMENT DONT LES FAÇADES PRINCIPALES SONT ORIENTEES EST OU OUEST

Les schémas ci-dessous montrent qu'avec des façades principales orientées à l'Est ou à l'Ouest

- en hiver : le bâtiment ne profite pas d'apports solaires gratuits, car **le rayonnement solaire provient d'un cadran Sud-Est à Sud-Ouest**, les façades principales ne sont donc pas impactées ;
- en été : le bâtiment bénéficie d'apports solaires importants le matin à l'est (de 6h à 12h) et l'après-midi à l'Ouest (de 14h à 21h) ce qui favorise les risques de surchauffes.



(c) Préconisations d'ordre général

La démarche d'optimisation énergétique peut donc être décrite en plusieurs étapes.

ORIENTATION DES BATIMENTS

A l'échelle du bâtiment :

- prévoir les façades principales au Sud : une orientation Sud-Ouest à Sud-Est reste pertinente. Les façades principales s'entendent la plupart du temps « côté jardin » pour les maisons individuelles ;
- assurer un recul suffisant entre les bâtiments pour permettre un accès au soleil au Sud dans les conditions les plus défavorables (solstice d'hiver).
- Prévoir des protections solaires adaptées pour éviter le risque de surchauffe et donc les consommations énergétiques liées à la climatisation.

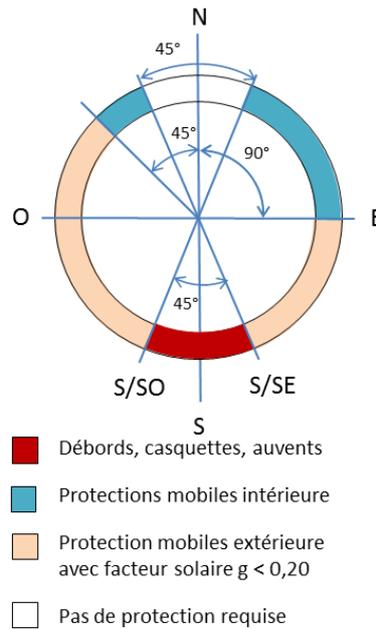


Figure 44: Protections solaires adaptées selon l'orientation (Source : La conception bioclimatique, Terre vivante)

Cette démarche mise en œuvre à l'échelle du Plan Masse permet également de favoriser l'implantation de capteurs solaires, qu'ils soient thermiques ou photovoltaïques.

Dans une optique uniquement axée sur l'accès au soleil pour la production d'énergie solaire thermique ou photovoltaïque, il convient donc de respecter au mieux ce recul pour optimiser la production.

A l'échelle des logements :

- Préférer une orientation des logements Nord-Sud : espaces tampons au Nord, espaces de vie au Sud
- Eviter les logements mono-orientés à l'Est ou à l'Ouest : des logements traversants permettent de minimiser l'impact d'une orientation défavorable
- Proscrire les logements mono-orientés au Nord, qui ne bénéficieront d'apports solaires que tôt le matin et tard le soir en été.

IMPACT DU RELIEF

Le relief a un impact fort sur les apports solaires. En effet, en terrain plat (pente=0%), l'optimisation des apports solaires devrait permettre, dans l'idéal, aux façades principales de bénéficier d'apports solaires gratuits en hiver, lorsque :

- le soleil est bas sur l'horizon
- les besoins en chauffage sont les plus importants

Dans ces conditions, la hauteur angulaire du soleil, le 21 décembre à midi (solstice d'hiver) est de 18° . Aucun obstacle ne devrait donc se trouver dans le champ de cette hauteur angulaire pour éviter les masques et les ombres résultantes. *Sur une surface plane, cet angle impose ainsi un recul de 3.1 fois la hauteur des bâtiments situés juste au sud du bâtiment étudié.*

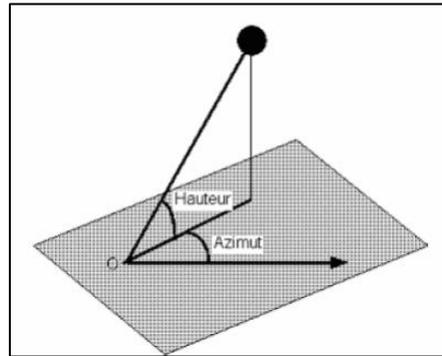


Figure 45: hauteur angulaire (source ENSTIB)

Sur un secteur accidenté, plus la pente est forte vers le Nord, plus les marges de recul devront augmenter. Le schéma suivant présente les paramètres à prendre en compte pour le calcul des marges de recul entre 2 bâtiments :

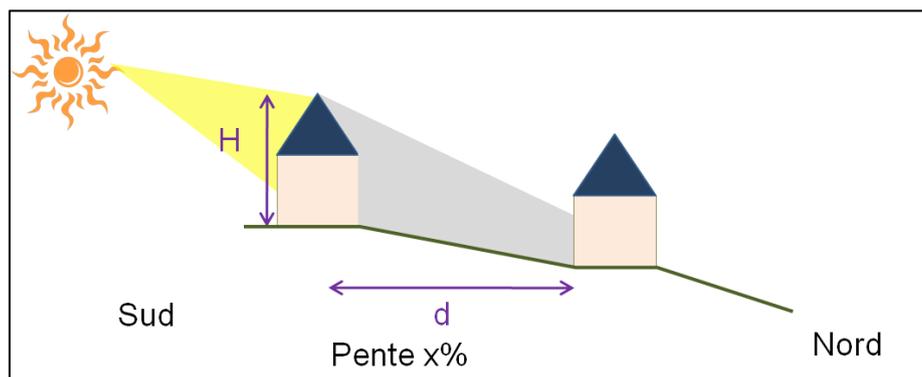


Figure 46: Paramètres à prendre en compte pour le calcul des marges de recul

Le tableau suivant présente un exemple de calcul de marge de recul entre un bâtiment de hauteur $H=9\text{ m}$ situé au Sud d'un bâtiment à créer pour des pentes allant de 0 à 6%. La ratio d/H peut être utilisé dans tous les cas de figure.

pente du terrain	ratio d/H	Avec $H=9\text{m}$
6.0%	$d= 4.33 \times H$	$d= 39.0\text{ m}$
5.5%	$d= 4.24 \times H$	$d= 38.2\text{ m}$
5.0%	$d= 4.15 \times H$	$d= 37.4\text{ m}$
4.5%	$d= 4.05 \times H$	$d= 36.5\text{ m}$
4.0%	$d= 3.96 \times H$	$d= 35.6\text{ m}$
3.5%	$d= 3.86 \times H$	$d= 34.7\text{ m}$
3.0%	$d= 3.76 \times H$	$d= 33.8\text{ m}$
2.0%	$d= 3.54 \times H$	$d= 31.9\text{ m}$
0.0%	$d= 3.08 \times H$	$d= 27.7\text{ m}$

Ces marges de recul ne peuvent pas toujours être mises en œuvre, car elles rentrent en interaction avec d'autres enjeux (densité, voirie, formes urbaines etc.). Cependant, plus elles seront optimisées, plus les bâtiments pourront profiter d'apports solaires gratuits.

MASQUES SOLAIRES

Le maintien de haies bocagères est important puisqu'elles ont un rôle à jouer sur le maintien de la qualité de l'eau, peuvent servir de corridor écologique lorsque qu'un réel maillage existe ou a été reconstitué.

Il conviendra donc de prendre en compte les arbres qui seront conservés dans le projet de manière à ce que leur ombre portée ne limite pas trop les apports solaires. **Dans l'ombre d'une haie de grande taille, un espace de jeux ou un parking collectif pourrait être aménagé par exemple.**

FORMES URBAINES

En ce qui concerne les **formes urbaines**, la prise en compte de la performance énergétique peut se traduire par les priorités suivantes :

- privilégier la **densité des logements** : des maisons groupées avec deux parois mitoyennes sont moins déperditives que des maisons isolées ;
- privilégier des **formes architecturales compactes** : des logements semi-collectifs (en R+1 ou R+2) permettent souvent d'aboutir à une meilleure compacité que des maisons groupées ;
- privilégier des **logements traversants** : les maisons individuelles sont généralement traversantes. Pour des petits collectifs, cet objectif permet souvent d'organiser les espaces de vie au Sud et les espaces fonctionnels (entrée, buanderie, coursives d'accès extérieur) au Nord. Les logements traversants ont l'avantage de permettre une ventilation naturelle estivale pour éviter les surchauffes. Cette organisation permet aussi d'éviter la plupart du temps les logements défavorisés d'un point de vue de l'orientation (orientation principale au Nord ou Nord-Est par exemple).

15.2. FICHE Energie solaire thermique

15.2.1. Rappel sur le solaire thermique

L'énergie solaire est une énergie gratuite, abondante et renouvelable. C'est l'énergie renouvelable de prédilection pour la production d'eau chaude, notamment celle à basse température.

Un rayonnement global d'environ 1500 kWh/m² « tombe » par an sur les départements de l'Ouest de la France, cela correspond à peu près à 150 litres de fioul par m².

Cette énergie arrive sous deux formes, le rayonnement direct provenant directement du soleil et le rayonnement diffus lorsque le ciel est nuageux. Le rayonnement diffus représente plus de la moitié du rayonnement annuel dans nos régions.

Une installation solaire thermique permet de récupérer environ 40 à 60% du rayonnement global provenant du soleil pour chauffer de l'eau, destinée à la production d'eau chaude sanitaire ou à du chauffage.

Le schéma suivant présente une installation simplifiée de type solaire collectif pour la production d'eau chaude sanitaire.

Une installation solaire comprend les éléments suivants :

- un **réseau de capteurs solaires** qui permet de transférer l'énergie solaire au fluide qui le traverse au moyen de l'absorbeur ;
- le circuit primaire qui permet de transporter et de transférer l'énergie solaire vers l'eau à travers un échangeur externe ou interne ;
- le **ballon de stockage solaire** qui permet d'accumuler l'eau chaude pour une utilisation ultérieure ;
- une **source d'énergie d'appoint**, instantanée ou couplée à un stockage d'eau chaude ;
- différents organes en fonction des systèmes : circulateurs primaires et secondaires, régulateurs, sondes, etc.

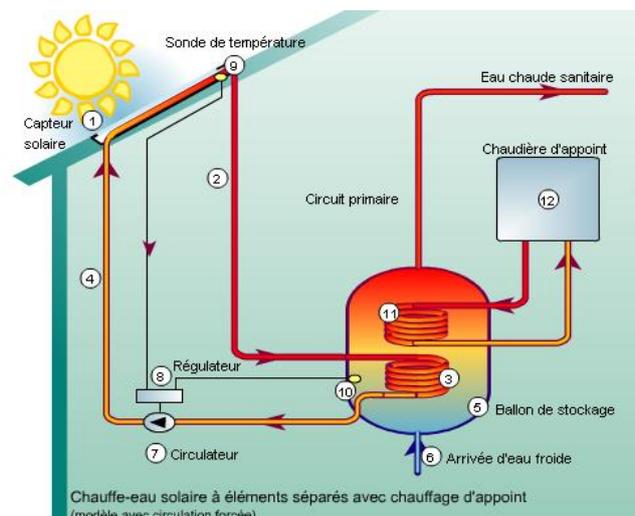


Figure 47 : principe de fonctionnement d'un' installation solaire thermique

15.2.2. Types d'utilisation

L'énergie solaire thermique peut être utilisée dans l'Ouest de la France sans restriction particulière, autant dans les logements individuels que les logements collectifs.

Les établissements recevant des personnes âgées de type **EHPAD** sont eux aussi de bon candidats à l'utilisation du solaire thermique car les **besoins en eau chaude sanitaire sont importants toute l'année**.

En revanche, les **locaux tertiaires et les commerces** ont généralement de faibles besoins en eau chaude. Il n'est donc **pas judicieux de le prévoir pour ces bâtiments** (en dehors de commerces spécifiques avec des forts besoins d'eau chaude).

Le solaire thermique est généralement utilisé pour la production d'eau chaude sanitaire. Il est important de rappeler que les systèmes solaires thermiques peuvent également participer à réduire de manière globale les besoins thermiques des bâtiments en produisant également une partie du chauffage.

Les installations solaires thermiques permettent de faire des économies d'énergie qui représentent environ :

- 40 à 50% des besoins d'eau chaude sanitaire lorsque le solaire est uniquement dimensionné pour la production d'eau chaude,
- 30% environ sur le chauffage et 60 à 65% sur l'eau chaude lorsque le système est dimensionné pour assurer une part des besoins de chauffage en complément de l'eau chaude.

15.2.3. Les schémas possibles et ceux qu'il convient d'éviter absolument

Plusieurs éléments sont à retenir pour l'installation d'énergie solaire pour la production d'eau chaude :

- **environ 4 à 5 m² pour les maisons individuelles ;**
- **environ 1 à 1,5 m² pour les logements collectifs ;**
- **éviter tout surdimensionnement** : en effet, il est toujours préférable de sous dimensionner une installation solaire :
 - o l'investissement d'une installation solaire « sous dimensionnée » sera toujours mieux rentabilisé ;
 - o les risques de surchauffe (en mi-saison et en été) du liquide caloporteur de l'installation seront réduits ce qui augmentera la pérennité de l'installation (pas de risque de corrosion des tuyaux) ;
 - o les subventions de l'Ademe (logements collectifs notamment) sont liées à un rendement minimum de 400 kWh/m²/an ce qui conduit à limiter le nombre de capteurs ;
- **incliner les panneaux solaires à 45° environ ;**
- **maintenir une orientation au sud à plus ou moins 25° maximum ;**
- **limiter les ombres et les masques (bâtiments proches, végétation) ;**
- ne pas installer autant d'installations solaires que de logements dans un bâtiment collectif. Ce principe est parfois préconisé mais il n'est jamais rentable d'un point de vue technique ou économique ;
- dans une installation solaire collective, il convient de limiter au mieux la longueur de tuyauterie de distribution et d'isoler ces tuyauteries au maximum. En effet, afin de réduire les risques de légionnelles, l'eau chaude devra généralement circuler en continu dans l'ensemble des logements (notion de bouclage), 24h/24 7j/7 toute l'année. Les pertes de bouclage peuvent ainsi être très importantes et limiter d'autant le gain des installations solaires.

L'utilisation du solaire en combinaison chauffage + eau chaude, est généralement privilégiée pour les maisons individuelles avec un plancher chauffant de type PSD (plancher solaire direct). Ce principe peut néanmoins être étudié dans le cas de bâtiments collectifs, une étude spécifique doit permettre de dimensionner au mieux les composants pour limiter les surchauffes et optimiser économiquement l'ensemble.

15.2.4. Préconisations

L'intégration d'énergie solaire a été prise en compte lors de la modélisation initiale (niveau BBC). Sans cette utilisation, les consommations en énergie pour l'eau chaude pourraient se trouver doublées.

Nous vous conseillons donc de préconiser l'utilisation de ce type d'énergie pour tous les bâtiments dont les besoins d'eau chaude sont importants en imposant une étude de faisabilité au minimum pour les bâtiments collectifs.

Il est nécessaire de rappeler que la réglementation thermique (RT2012), en vigueur dans les bâtiments d'habitation impose, pour les logements individuels et assimilés, l'utilisation d'énergie renouvelable pour la production d'eau chaude sanitaire. Le solaire est, à ce titre, l'une des sources privilégiées pour répondre à ce principe.

15.3. FICHE Energie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est une solution de production d'énergie électrique décentralisée qui peut être avantagement étudiée lors de la construction de bâtiments neufs, par exemple.

En revanche, même si l'intégration de tels systèmes doit être réfléchi le plus en amont dans les projets de construction, notamment pour assurer une intégration réussie, **il est toujours préférable de considérer le photovoltaïque en dehors de la phase d'optimisation énergétique du bâtiment. Un bâtiment doit d'abord être performant à l'aide d'une bonne orientation (démarche bio-climatique), d'une bonne enveloppe (isolation, vitrage), avant d'être performant par l'intégration de systèmes énergétiques complexes.**

L'installation de panneaux photovoltaïques pourrait être envisagée afin de produire de l'énergie électrique localement et de revendre la production à EDF.

Ce type de production décentralisée est actuellement aidé, il est donc intéressant d'en étudier l'opportunité. Cependant, afin de bénéficier d'un tarif de rachat optimal, il est nécessaire d'intégrer le générateur photovoltaïque au bâtiment : remplacement de bardage vertical, membrane d'étanchéité, casquettes solaires, etc. En effet, dans le cas d'une production à partir d'un système intégré, le tarif de rachat est majoré.

Plusieurs solutions pourraient être envisagées sur les bâtiments, en fonction de la configuration et de l'architecture des constructions.

15.3.1. Membranes d'étanchéité photovoltaïques

Pour les bâtiments collectifs par exemple, il pourrait être envisagé d'intégrer des panneaux tout en assurant l'étanchéité des toitures. Des modules photovoltaïques sont directement intégrés, en usine, sur une membrane d'étanchéité, ainsi que l'ensemble des connectiques.

Pour une surface équivalente, ces modules sont moins performants que des modules classiques mais le coût de ces solutions et l'intérêt technique de mutualiser l'étanchéité avec une production photovoltaïque rendent ce produit aujourd'hui adapté à certains projets.



Figure 48 : exemple de membranes d'étanchéité installées sur un bâtiment industriel

15.3.2. Panneaux de silicium

La seconde solution repose sur des modules plus classiques à base de silicium polycristallin. Généralement adaptés pour la maison individuelle, ces systèmes peuvent être posés sur quasiment tous les types de support.

Les modules polycristallins offrent une puissance située autour de **130 W à 140 W par m²**. La performance de ces capteurs est donc supérieure à celle des membranes. En revanche, l'intégration dans les bâtiments nécessite des structures spécifiques plus difficiles et coûteuses à mettre en œuvre que les modules membranes.



Figure 49 : modules Photowatt

15.4. FICHE Pompes à chaleur

Les pompes à chaleur sont souvent également considérées comme utilisant de l'énergie renouvelable. Ces équipements spécifiques utilisent en effet généralement de l'énergie solaire (« aérothermie », « géothermie » horizontales ou verticales) car elles puisent une partie de l'énergie de l'atmosphère ou du sol, eux-mêmes chauffés par le soleil. **En revanche, nous considérons que ces équipements ne peuvent être classés parmi les énergies renouvelables au même titre que les précédentes car :**

- les pompes à chaleur fonctionnent grâce à l'électricité, une énergie qui nécessite pour sa production environ 3 fois plus d'énergie fossile (gaz, uranium, fioul, etc.) ;
- le rendement de ces équipements (COP : coefficient de performance, ratio entre l'énergie produite et l'énergie utilisée) atteint pour le moment des niveaux généralement inférieurs à 3 (en moyenne annuelle). Un rapide calcul au regard du bilan de l'énergie électrique, permet ainsi de montrer que ces équipements, malgré l'utilisation technique d'énergie solaire, consomment autant d'énergie fossile qu'une chaudière traditionnelle ;
- leur fonctionnement nécessite l'usage d'un fluide frigorigène dont l'impact sur l'effet de serre est important (équivalent de 1300 à 1900 kg de CO₂ par kg de fluide frigorigène) : en effet, toutes les pompes à chaleur ont un taux de fuite qui va de 3% à 10% par an ;
- **les pompes à chaleur sont donc plutôt de bons systèmes de chauffage électrique. Elles deviendront des énergies renouvelables lorsque le COP dépassera en moyenne annuelle le rendement des centrales électriques actuelles et/ou lorsque l'énergie électrique utilisée sera d'origine renouvelable.**

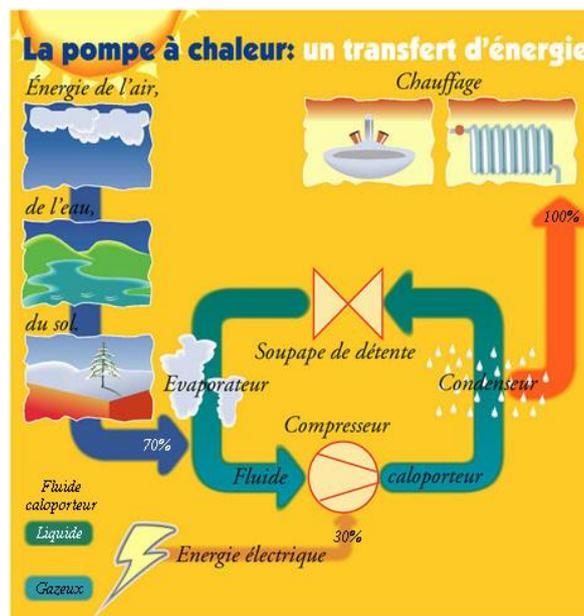


Figure 50 : principe de fonctionnement des pompes à chaleur (source www.airclim-concept.com)

Il est important de noter que les pompes à chaleurs Air-Eau, couramment appelées « aérothermie », nécessitent l'implantation d'un groupe extérieur muni d'un ventilateur qui peut générer des nuisances acoustiques non négligeables, surtout dans le cas d'un habitat dense.

Enfin, il est important de préciser que l'installation massive de pompes à chaleur contribue à affaiblir le réseau de distribution d'électricité à cause des appels de puissance importants les jours de grand froid.

Extrait du Pacte électrique occitan :

L'orientation des choix d'investissements et d'équipements

Les signataires s'engagent à assurer une information sur les avantages et inconvénients au regard du système électrique de l'équipement en pompes à chaleur ou en convecteurs aux fins de privilégier d'autres systèmes de chauffage moins consommateurs d'électricité. Les collectivités seront sollicitées pour moduler les critères d'attribution de leurs aides (éco-conditionnalité).

15.5. FICHE Energie éolienne

15.5.1. Présentation

L'énergie éolienne est en fort développement en France depuis plusieurs années maintenant.

L'ensemble de l'électricité produite par les sites d'éoliennes est généralement revendu à EDF. En revanche, de par la nature même de l'électricité, elle profite principalement aux consommateurs proches du site éolien. Cette production décentralisée a ainsi plusieurs avantages :

- produire une partie de l'énergie électrique à partir d'énergies renouvelables et donc limiter le recours aux énergies fossiles ;
- limiter les pertes sur le réseau de transport et de distribution en assurant une production locale ;
- permettre aux utilisateurs proches de limiter leur impact sur l'environnement par l'utilisation de cette électricité ;
- participer à la vie locale et au rayonnement de la commune.

L'une des spécificités de l'énergie éolienne est son **caractère variable**, lié aux variations de l'intensité du vent.

15.5.2. Grand éolien

15.5.2.1) Définition

On distingue les types d'éoliennes en fonction de leur puissance et de leur taille :

- le "moyen éolien", pour les machines entre 36 kW et 350 kW
- le "grand éolien" (puissance supérieure à 350 kW), pour lequel on utilise des machines à axe horizontal munies, dans la plupart des applications, d'un rotor tripale.

15.5.2.2) Restrictions

L'obligation réglementaire d'éloignement de plus de 500 m des zones d'habitation des éoliennes de plus de 50 mètres de haut et les restrictions dues au plafond aérien militaire réduisent à néant le potentiel de développement du grand éolien sur la plupart des projets d'aménagement. Le développement de tel projet se fait à l'échelle départemental voir régional.



Figure 51: Source Schéma éolien terrestre en Occitanie

15.5.3. Petit éolien

15.5.3.1) Définition

Selon l'Ademe, le « petit éolien » désigne les éoliennes dont la hauteur du mât est inférieure à 35 mètres et dont la puissance varie de 0,1 à 36 kW.

En France, le petit éolien reste peu développé : notamment car il n'y a pas d'obligation de rachat de l'électricité produite.

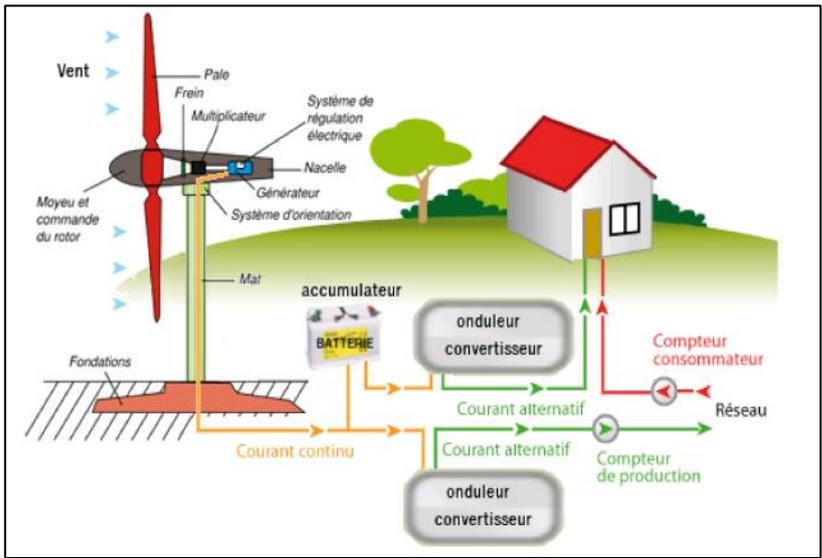


Figure 52: Source Synagri

Figure 53: Schéma de principe d'une installation éolienne (Source: Fiche pratique DDTM35)

15.5.3.2) Productibilité

La figure suivante extraite de la fiche technique éolien réalisée par la DDTM 35 donne un ordre d'idée de l'énergie produite en fonction du type d'éolienne :

Type	Utilisation	Puissance (KW)	Hauteur (nacelle) (m)	Production annuelle (MWh)	Nombre de ménages (5 MWh/an)
Micro	Domestique	0,5 - 5	< 12m	1 - 10 ⚠	0.25 - 2 ⚠
Petite	Domestique/ agriculteurs	5 - 50	12 - 30	10 - 100 ⚠	2 - 20 ⚠
Moyenne	PME/industrie	50 - 250	30 - 50	100 - 500 ⚠	20 - 100 ⚠
Grande	Production en masse	> 250	> 50	> 500 ⚠	> 100 ⚠
Valeurs pour les grandes éoliennes actuelles		1 000 KW (1 MW)	60-80	1 200-2 300	240-460
		2 000 kW (2 MW) (évolution 3MW)	80-120	2 900- 5 500	580-1 100

Données EDF Enbrin et DDTM35

⚠ : Les valeurs indicatives du tableau ci-dessus sont dans l'hypothèse de production de 1000 à 2000 heures/an de production. La viabilité économique de l'éolienne impose une production minimum de 1000 heures. Elles nécessitent une étude détaillée du site et de la recherche de l'éolienne la plus adaptée (type, puissance, hauteurs).

15.5.3.3) Réglementation

(a) Occupation du sol

Le tableau suivant présente les exigences et références réglementaires relatives à l'occupation du sol et aux obligations d'études d'impact.

Hauteur d'éolienne	Exigences réglementaire	Référence Réglementaire
< 12 m	Aucune exigence	Aucune
> 12 m	Permis de construire	<i>Article R.421-2 du code de l'urbanisme</i>
> 50 m	Enquête publique Assujetties à la législation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) <ul style="list-style-type: none"> ✓ Elles doivent être situées à plus de 500 mètres des zones destinées à l'habitation ; ✓ - Elles doivent se conformer à de nouvelles prescriptions réglementaires encadrant leur implantation et leur exploitation 	<i>Articles L. 553-2 et R. 122-9 du code de l'environnement</i> <i>Le décret de nomenclature et les arrêtés de prescription seront établis dans le cadre de la réglementation des installations classées (au plus tard le 12 juillet 2011).</i> <i>Sauf pour les installations dont la demande de permis de construire a été déposée avant la publication de la loi Grenelle 2, et pour celles constituées d'une éolienne dont la puissance est inférieure ou égale à 250 kilowatts et dont la hauteur est inférieure à 30 mètres.</i>
Parc éolien	Evaluation préalable des conséquences sur l'environnement Les installations éoliennes doivent comporter plus de 5 mâts	<i>Etude d'impact pour les éoliennes de plus de 50 mètres, notice d'impact pour les éoliennes de moins de 50 mètres.</i> <i>Sauf pour les installations dont la demande de permis de construire a été déposée avant la publication de la loi Grenelle 2, et pour celles constituées d'une éolienne dont la puissance est inférieure ou égale à 250 kilowatts et dont la hauteur est inférieure à 30 mètres.</i>

Figure 54: Exigences et références réglementaires relatives à l'éolien (Source : www.developpement-durable.gouv.fr)

(b) Suppression des Zones de développement éolien

La loi Brottes (n° 2013-312), promulguée par le président de la république le 15 Avril 2013 prévoit plusieurs mesures de simplification :

- suppression des ZDE (Zones de Développement de l'Eolien) qui se superposaient avec les Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE),
- suppression de la règle des cinq mâts minimum,
- dérogation à la Loi Littoral pour les territoires ultramarins facilitant l'implantation de parcs éoliens en bord de mer,
- Enfin, le texte va permettre le raccordement à terre des énergies marines renouvelables qui, jusqu'alors, s'avérait complexe, voire impossible à réaliser.

15.6. FICHE Géothermie

15.6.1. LA GEOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE (TEMPERATURE INFÉRIEURE A 30°C)

Elle concerne les aquifères peu profonds d'une température inférieure à 30°C, température très basse, qui peut cependant être utilisée pour le chauffage et la climatisation si l'on adjoint une pompe à chaleur.

Elle concerne également la captation d'énergie solaire stockée dans sous-sol superficiel à l'aide de PAC sur sondes géothermiques.

Ce type de géothermie est exploitable en Occitanie, la nature du sol et la profondeur de l'aquifère influenceront l'efficacité du système mis en place.



Figure 55 © ADEME - BRGM

15.6.2. La géothermie basse énergie (30 à 90°C)

Appelée également basse température ou basse enthalpie, elle consiste en l'extraction d'une eau à moins de 90°C dans des gisements situés entre 1 500 et 2 500 mètres de profondeur.

L'essentiel des réservoirs exploités se trouve dans les bassins sédimentaires de la planète car ces bassins recèlent généralement des roches poreuses (grès, conglomérats, sables) imprégnées d'eau.

Le niveau de chaleur est insuffisant pour produire de l'électricité mais parfait pour le chauffage des habitations et certaines applications industrielles.



Figure 56 : © ADEME - BRGM

15.6.3. La géothermie moyenne énergie (90 à 150°C)

La géothermie de moyenne température ou moyenne enthalpie se présente sous forme d'eau chaude ou de vapeur humide à une température comprise entre 90 et 150°C.

Elle se retrouve dans les zones propices à la géothermie haute énergie, mais à une profondeur inférieure à 1 000 m.

Elle se situe également dans les bassins sédimentaires, à des profondeurs allant de 2 000 à 4 000 mètres.

Pour produire de l'électricité, une technologie nécessitant l'utilisation d'un fluide intermédiaire est nécessaire.

15.6.4. La géothermie haute énergie (température supérieure à 150°C)

La géothermie haute enthalpie ou haute température concerne les fluides qui atteignent des températures supérieures 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.



Figure 57 : © ADEME - BRGM

15.6.4.1) 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. A 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.

La figure suivante résume les différents types de géothermie présentés ci-dessus :

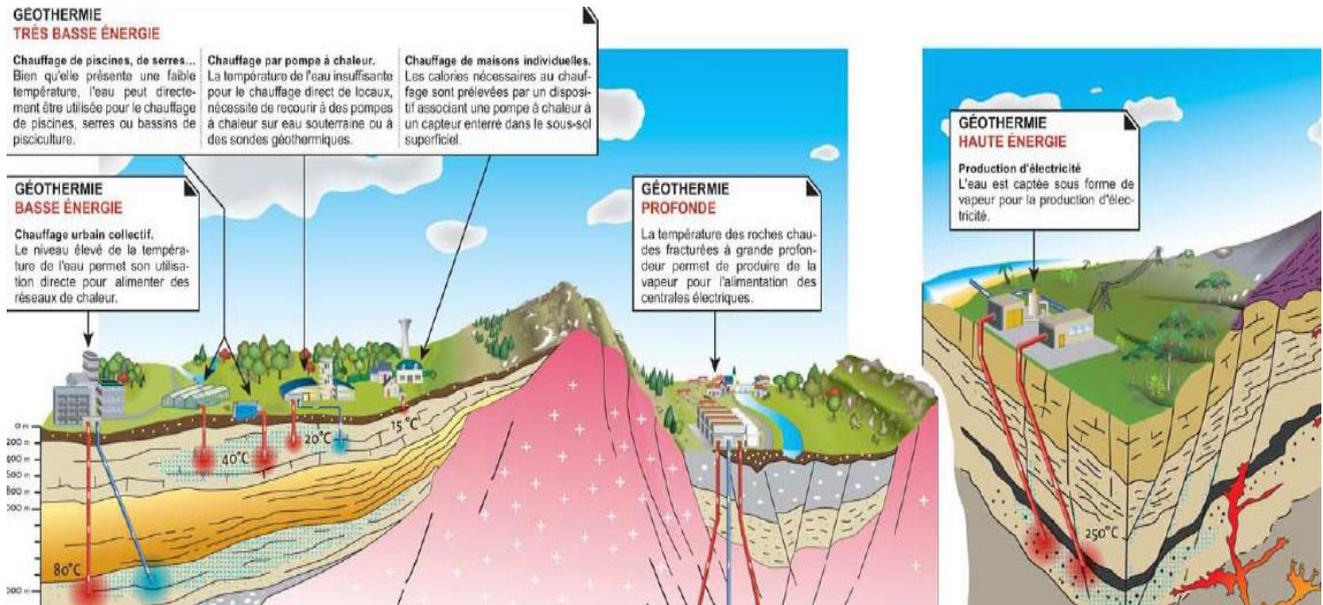
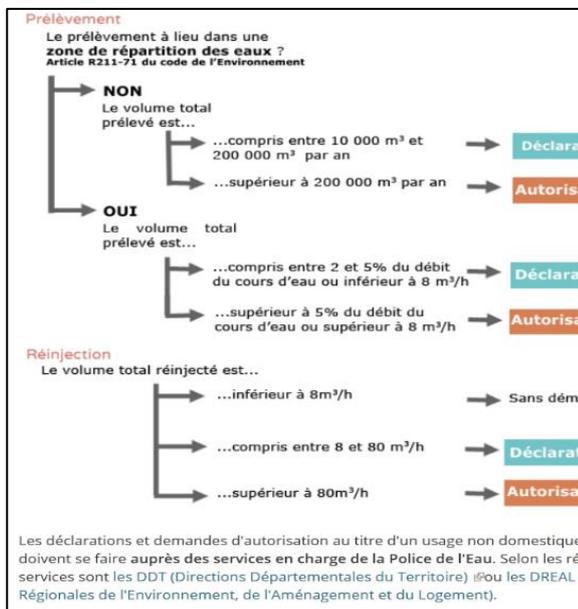
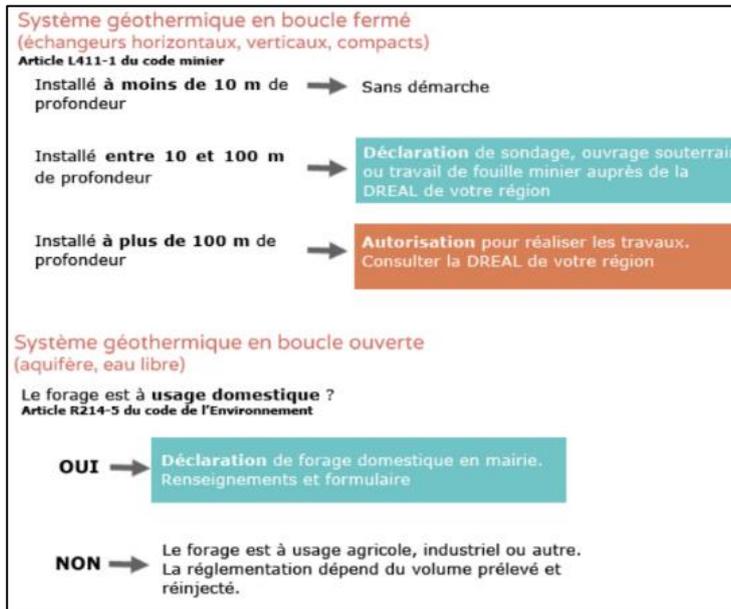


Figure 58 : Synthèse des techniques de géothermie © ADEME - BRGM



15.6.4.2) Réglementation



Source BRGM

Le code minier, le code de la santé publique, le code général des collectivités territoriales peuvent régir les opérations de géothermie. La géothermie est régie par le code minier en vertu de son article L.112-2 (ancien article 3) qui donne une définition de la géothermie et du régime juridique qui lui est applicable. Ainsi, « les gîtes renfermés dans le sein de la terre dont on peut extraire de l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et des vapeurs souterraines qu'ils contiennent », sont considérés comme des mines. Une substance minière appartient à l'Etat et non au propriétaire du sol. L'exploitation d'une ressource minière nécessite donc des autorisations accordées par l'Etat. Outre le code minier, les opérations de géothermie entrent dans le champ d'application du code de l'environnement pour les prélèvements et les réinjections en nappe, le code de la santé publique et le code général des collectivités territoriales qui peuvent s'appliquer dans certains cas particuliers.

Les opérations géothermiques peuvent être soumises à différents régimes d'autorisation ou de déclaration qui supposent le montage de dossier administratifs plus ou moins approfondis selon les cas et des circuits d'approbation administrative plus ou moins long. Les opérations de moins de 100 m de profondeur et de moins de 232 KW de puissance thermique sont considérées comme des opérations de minime importance et ne sont

soumises qu'à déclaration. Dans les autres cas, elles sont soumises à autorisation. A cette réglementation nationale, s'appliquent des réglementations territorialisées et spécifiques. En effet, certaines portions du territoire, du fait de particularités naturelles, font l'objet de mesures de protection susceptibles d'impacter le dimensionnement d'un projet de géothermie, voire de l'interdire.

15.7. FICHE : Récupération d'énergie sur les eaux usées

Ils existent différentes techniques de récupération d'énergie sur les eaux usées :

Dans les collecteurs du réseau d'assainissement (ouvrages assurant la collecte et le transport des eaux usées : canalisations, conduites, ...)

Cette solution utilise la chaleur des effluents quel qu'en soit le type (eaux vannes et eaux grises), sans prétraitement nécessaire. Elle met en œuvre des échangeurs spécifiques qui sont :

- soit directement intégrés dans des canalisations neuves lors de leur fabrication
- soit rapportés et posés en partie basse des canalisations d'eaux usées existantes ou construites spécifiquement.

Elle nécessite des collecteurs de taille adaptée, non coudés sur une longueur suffisante et disposant d'un débit d'eaux usées minimum d'environ 15 l/s. En fonctionnement, cette solution comporte des contraintes d'exploitation liées à l'encrassement des échangeurs par ensablement et formation de biofilm dans le collecteur et à une limitation de baisse de la température des eaux usées à 5 K maximum après passage dans l'échangeur, pour ne pas perturber le process d'épuration en aval.

Ce système a l'avantage de pouvoir se situer proche des preneurs de chaleur. Couplé à une chaudière et une pompe à chaleur, un tel dispositif permet éventuellement d'alimenter un chauffage à distance.

Dans les stations d'épuration (STEP),

Cette solution utilise la chaleur eaux épurées (après traitement) et peut être mise en place dans l'enceinte de la STEP de capacité supérieure à 5000 équivalents logements, en amont du rejet des eaux épurées vers le milieu naturel. Elle peut théoriquement autoriser une liaison directe vers la pompe à chaleur et éviter ainsi la présence d'échangeur intermédiaire. La récupération de chaleur sur les eaux épurées en sortie de STEP peut être réalisée grâce à différents types d'installations et d'échangeurs : échangeurs à plaques, échangeurs multitubulaires (faisceau de tubes), échangeurs coaxiaux.

Dans les stations (ou postes) de relevage

La solution de récupération de chaleur des eaux usées au niveau des stations de pompage (ou postes de relevage) peut être aussi intéressante car ces stations sont situées en ville et donc proches des preneurs de chaleur. Le système utilise une fosse de relevage existante. Une partie des eaux usées est pompée de la fosse de la station de pompage avant STEP vers des échangeurs.

Au pied de bâtiments ayant une forte consommation d'eau (dans ce dernier cas, on parlera plutôt de récupération d'énergie thermique sur les eaux grises)

Cette solution nécessite obligatoirement une évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes. Elle peut permettre l'utilisation de matériel non spécifique aux eaux usées (échangeurs standards, PAC) et nécessite généralement des systèmes sophistiqués de filtrations et d'auto nettoyage des échangeurs sur eaux usées.

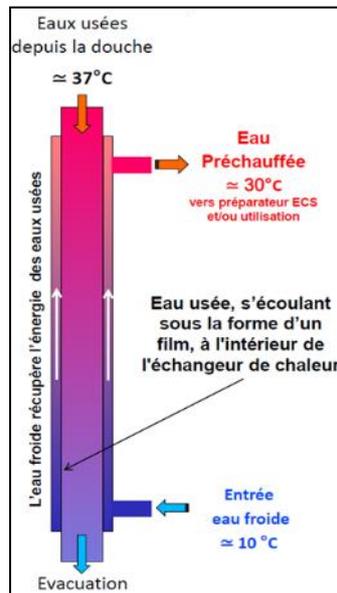
Cette solution capte la chaleur des eaux usées directement à la sortie de l'immeuble, grâce à un échangeur de chaleur installé dans une fosse dédiée à cette utilisation.

Les eaux usées arrivent dans une cuve centrale. Le filtre retient les plus grosses particules dans la cuve et une pompe déverse quotidiennement les résidus accumulés dans la cuve vers le collecteur. Le niveau d'eau

dans la fosse est maintenu suffisamment haut pour qu'il y ait déversement du trop-plein dans le tube intermédiaire puis vers le collecteur.

Cette solution se différencie des autres précédemment citées car son domaine d'application privilégié est la production d'eau chaude sanitaire de l'immeuble. L'application au chauffage (et/ou à la climatisation) d'une installation de récupération de chaleur en sortie de bâtiments peut également être envisagée avec l'intégration au dispositif d'une pompe à chaleur.

Echangeur de chaleur sur l'eau des douches



Cette solution peut être mise en œuvre individuellement ou à l'échelle d'un bâtiment d'habitat collectif. Un échangeur de chaleur est posé directement sur la canalisation d'évacuation des eaux de douche et permet de récupérer environ 60% de la chaleur.

15.8. FICHE Réglementation pour l'installation d'une petite centrale hydroélectrique

15.8.1. Droit d'eau

Avant d'engager des démarches pour une **petite centrale hydroélectrique**, il est nécessaire d'être détenteur du droit d'eau.

- Droit fondé en titre

Un droit d'usage de l'eau exonère d'une demande d'autorisation ou de renouvellement. Sur les cours d'eau domaniaux (appartenant à l'Etat) ce droit doit être acquis avant l'édit royal de Moulins de 1566. Sur les cours d'eau non domaniaux, ce droit doit être acquis avant l'abolition du régime féodal, le 4 août 1789. Il est impératif d'être en mesure d'apporter la preuve de ce droit !

- Absence de droit

Il est nécessaire de formuler une demande pour produire de l'électricité. L'installation d'une **petite centrale hydroélectrique** est soumise à la loi du 16 octobre 1919 relative à l'énergie hydraulique. Selon la réglementation en vigueur, une **petite centrale hydroélectrique** dont la puissance maximale brute est inférieure à 4 500 kW nécessite une autorisation délivrée en préfecture. Cette autorisation est renouvelable une seule fois pour 30 ans.

Les projets de plus de 4 500 kW nécessitent une concession délivrée par le Conseil d'Etat. Le concessionnaire doit présenter sa demande de renouvellement onze ans au moins avant l'expiration de la concession.

15.8.2. Droit de l'environnement

L'installation d'une **petite centrale hydroélectrique** est soumise au respect de la législation sur l'eau détaillée dans le code de l'environnement et la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006

- Une étude d'impact est nécessaire pour les centrales supérieures à 500 kW,
- Il est nécessaire de maintenir un débit minimum de 10% du débit moyen annuel pour la vie et la circulation des poissons,
- Il existe des contraintes potentielles liée aux zones Natura 2000, non présente sur le site, ou au (projet de) classement projeté ou en cours sur la rivière, ou à d'éventuelles servitudes.

15.8.3. Enquête publique

Une enquête publique est demandée pour les installations dont la puissance sera supérieure à 500 kW.

15.8.4. Raccordement au réseau

Un dossier est à déposer en préfecture au titre de la demande de raccordement. La Loi du 10 février 2000 et ses arrêtés sur l'obligation d'achat pour centrale d'une puissance maximale brute inférieure à 12 MW, oblige EDF, ou les Entreprises Locales de Distributions (ELD) appelée également Distributeurs Non Nationalisés, à acheter l'électricité produite par certaines installations de production raccordées au réseau dont l'Etat souhaite encourager le développement.

15.9. FICHE Bois énergie : solutions individuelles

Par biomasse, nous entendons dans cette étude l'ensemble de la filière « bois énergie ».

L'utilisation du bois dans les logements individuels ou intermédiaires se développe assez fortement depuis quelques années. Les solutions disponibles permettent généralement de chauffer l'ensemble du logement avec un système simple et performant.



Celui-ci pourrait être de quatre types :

Type	Avantages	Inconvénients	Remarque
Foyer fermé	Facilité d'installation Alimentation à partir de bûches Possibilité de récupération de chaleur pour l'étage Coût de la bûche	Faible autonomie Impossibilité de réguler finement la diffusion de chaleur Rendement moyen Temps d'entretien important	Pas de dispositif de chauffage central
Poêle à bois bûche	Facilité d'installation Alimentation à partir de bûches Coût de la bûche	Faible autonomie Impossibilité de réguler la diffusion de chaleur Rendement supérieur à celui du foyer fermé Temps d'entretien important	Pas de dispositif de chauffage central
Poêle à granulés	Autonomie pouvant être importante Possibilité de régulation Stockage en format sac ou vrac Bon rendement Temps d'entretien limité	Bruit généré (parfois) Coût du granulé Nécessite un branchement électrique	Pas de dispositif de chauffage central
Chaudière granulés	Automatisation équivalente à une chaudière fioul ou gaz Rendement très bon Autonomie très importante Temps d'entretien limité	Installation nécessitant une chaufferie et de l'espace de stockage Coût de la chaufferie au regard de besoins faibles en BBC	Chauffage central, couplage possible avec du solaire Vigilance sur la puissance à installer

Toutes ces solutions sont envisageables.

En maison individuelle, les systèmes de chauffage divisé type poêles, ou foyer fermé sont très bien adaptés : **le logement doit être conçu de manière à ce que la chaleur puisse facilement desservir toutes les pièces**. Les particuliers feront leur choix en fonction de leurs volonté de passer du temps à la manipulation du bois bûche et du décendrage. **L'automatisation des poêles à granulés permet d'améliorer le niveau de confort des usagers en limitant la manutention et en offrant la possibilité de programmer des plages de chauffage.**

Les chaudières à granulés sont adaptées en maison individuelle à condition :

- d'avoir de la place pour la chaufferie : chaudière+silo de stockage, **environ 10 m²** ;
- d'installer un système de chauffage central ;
- d'adapter la puissance à installer aux besoins de la maison.

En effet, la réglementation thermique 2012 imposera un standard BBC en termes de besoins : le coût d'un système de chauffage central pourra apparaître trop important au vu de faibles besoins en chaleur. La puissance nécessaire sera elle aussi assez faible, il est donc important que les chaudières installées présentent des petites puissances (6-8-10 kW). C'est dans cette optique que de plus en plus de constructeurs se penchent sur des matériels de faible puissance adaptés aux maisons performantes.

15.10. FICHE Bois énergie : solutions collectives

Comme pour le chauffage collectif au fioul ou au gaz, il est possible d'installer une chaudière granulés pour desservir des logements collectifs. Il s'agit de réaliser une chaufferie collective qui dessert les logements avec comptage de chaleur ou non (tout dépend des modalités de gestion du bâtiment) : **une étude de faisabilité peut être imposée pour préciser l'intérêt de cette solution dans les logements collectifs.**

Il est dans ce cas nécessaire de prévoir une chaufferie dédiée avec un silo de stockage dimensionné en fonction des besoins, un accès pour le camion de livraison. En termes de maintenance, le contrat de maintenance doit prévoir le passage régulier d'un agent pour le décendrage et l'entretien annuel de la chaufferie. La valorisation des cendres doit également être prévue.

15.10.1. Principe de fonctionnement des chaudières automatiques

Les chaudières automatiques à bois sont des générateurs de chaleur qui sont très différents des chaudières bûches traditionnelles. Elles utilisent du bois déchiqueté (ou des granulés de bois).

Le combustible est convoyé **automatiquement** dans le foyer grâce à un système de convoyage (vis sans fin ou tapis convoyeur), ce qui supprime complètement les manipulations quotidiennes de bois nécessaires avec une chaudière à bûches. La combustion est complètement maîtrisée grâce à la maîtrise des arrivées d'air comburant et de la quantité de combustible apportée au foyer. Le rendement atteint 80 à 90% ce qui a plusieurs conséquences : températures de fumée très basses (110°C), cendres très fines produites en faible quantité (1 à 2% en volume), peu de dégagements de poussières et de produits de combustion incomplète dans les fumées.

Le bois est stocké dans un silo attenant à la chaufferie, dimensionné en fonction de la consommation prévisionnelle de l'installation.

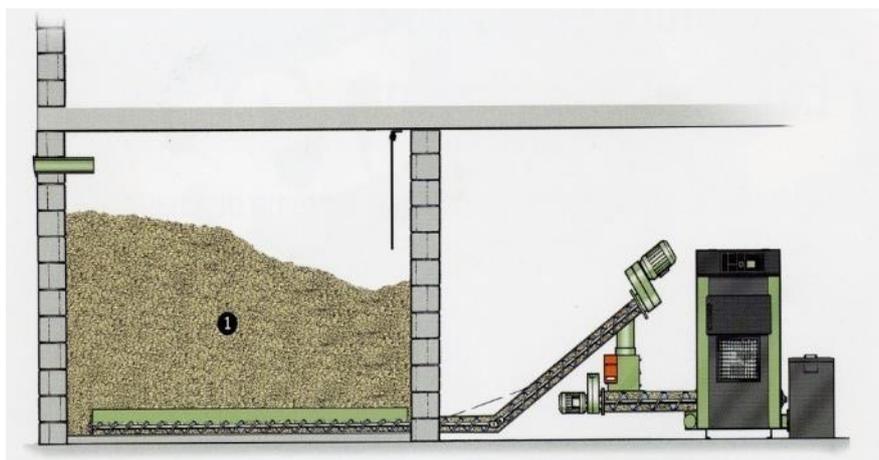


Schéma de principe d'une chaufferie bois.

15.10.2. Combustible

A Origine du bois

Le **bois déchiqueté** consommé par les chaufferies en Région Occitanie peut être d'origine industrielle ou agricole.

Le **bois déchiqueté d'origine industrielle** provient :

- de connexes d'industrie du bois
- de DIB² : palettes ou cageots en fin de vie
- de bois d'éclaircies forestières

Ces différentes ressources sont regroupées, mélangées et calibrées sur des plateformes de stockage et de conditionnement qui assurent l'approvisionnement des chaufferies.



Le **bois déchiqueté d'origine agricole** provient de la valorisation des branchages issus de l'entretien des haies et des talus : il est produit et vendu par des groupes d'agriculteurs structurés localement.

Les **granulés de bois** sont fabriqués avec de la sciure issue de l'industrie du bois : ces sciures sont transformées en granulés par pressage si elles sont sèches, elles sont préalablement séchées avant compression si elles sont humides. Dans les deux cas, les granulés ne comportent pas d'additifs. Le granulé de bois est un produit beaucoup plus homogène que la plaquette, donc plus facilement utilisable, mais il nécessite plus d'énergie pour sa fabrication.

15.10.2.1) Conditions de production et de stockage

Quelle que soit l'origine du bois, le maître d'ouvrage devra être vigilant sur les caractéristiques techniques suivantes :

- **granulométrie** maximale tolérée par la chaudière ;
- **taux d'humidité** maximum toléré par la chaudière ;
- taux de **poussières** (ou taux de « fines ») ;
- absence de **terre ou de sable** (produit du mâchefer dans la chaudière) ;
- absence de **corps étrangers** (morceaux de métal, plastique ou autres d'origines diverses).

Ces caractéristiques étant variables en fonction des gammes de puissance et des constructeurs de chaudière, le maître d'ouvrage devra exiger un **engagement du fournisseur** sur la base de la qualité du bois préconisée par le constructeur de la chaudière.

Une attention particulière devra être portée à la **production de bois d'origine agricole** :

- **Chantier de déchiquetage** : éviter le déchiquetage de branches terreuses. La terre reste dans le bois déchiqueté et provoque la production de mâchefer. De la même manière, le déchiquetage de branches vertes avec feuilles provoque au séchage la production de poussière en grande quantité. Il est donc préférable de déchiqueter du bois d'hiver, sans feuilles ; ou de laisser sécher les feuilles avant le chantier de déchiquetage en cas d'abatage estival obligatoire (prairies humides).
- **Stockage du bois** : le bois déchiqueté doit être stocké sur dalle, sous hangar couvert et aéré, au moins 6 mois après déchiquetage, pour permettre le séchage. L'aération du hangar ne nécessite pas forcément de ventilation mécanique : des ouvertures latérales ou zénithales doivent permettre l'évacuation de la vapeur d'eau produite par la fermentation du bois.
- **Corps étrangers** : le lieu de stockage et la manutention du bois doivent permettre de limiter au maximum l'introduction accidentelle de corps étrangers (outils, pièces métalliques, ficelles etc.) susceptibles de bloquer les vis de convoyage du bois dans la chaudière.

² DIB : déchets industriels banals

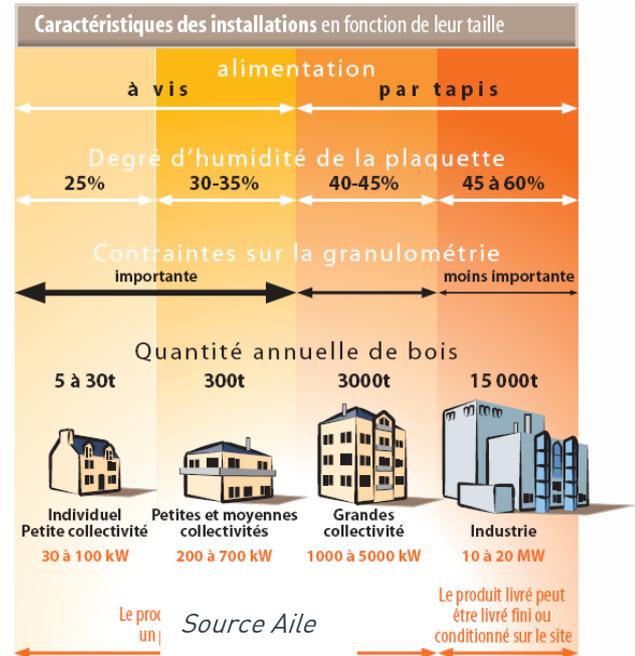
- **Gestion des stocks** : le bois déchiqueté en hiver doit sécher 6 mois à 1 an. La production de l'année suivante devra être stockée séparément de manière à ne pas ré-humidifier de la plaquette sèche. Le hangar devra se prêter à ce type de gestion des stocks.

15.10.3. Gamme de puissance

La gamme de puissance couverte par les chaudières automatiques est très étendue : de 20 kW (chauffage d'une maison), à plusieurs MW pour les usages industriels.

A chaque gamme de puissance correspond un système de convoyage de bois déchiqueté. Plus la puissance augmente, plus la granulométrie du bois peut être grossière et plus le taux d'humidité acceptable est élevé.

Le granulé est plus adapté aux chaudières de petites à moyennes puissances : de 8 kW à 300 kW lorsque plusieurs chaudières sont installées « en cascade ».



15.10.4. Chaudières bois et qualité de l'air

Une note de synthèse ADEME-MEEDDAT "Le bois énergie et la qualité de l'air" a été rendue publique en mars 2009.

Principaux enseignements :

1-le bois énergie contribue pour une très faible part aux émissions nationales de dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x) (2% environ) et contribue à hauteur de 10% environ aux émissions de dioxines et de poussières totales ;

2-le bois énergie contribue de manière significative aux émissions nationales de :

- composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) : 22%,
- de monoxyde de carbone (CO) : 31%,
- d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (77% pour la somme des 4 HAP),
- de particules : 27% pour les PM10 et 40% pour particules les plus fines (PM2,5).

En résumé, le bois-énergie ne constitue pas actuellement au niveau national et en termes de bilan d'émissions, une source majeure de pollution par le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les dioxines. Par contre sa contribution, en l'état actuel des technologies ou des pratiques, est notable vis-à-vis des poussières fines, des composés organiques volatils, du monoxyde de carbone, et des hydrocarbures aromatiques polycycliques, et **en raison surtout de la combustion du bois en maison individuelle dans de mauvaises conditions.**

Le secteur domestique est responsable en grande partie des émissions de polluants atmosphériques liés à la combustion du bois :

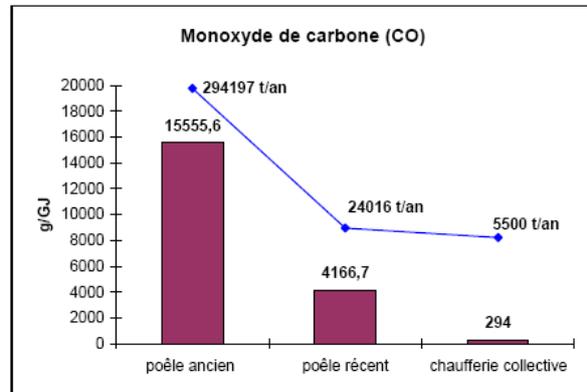
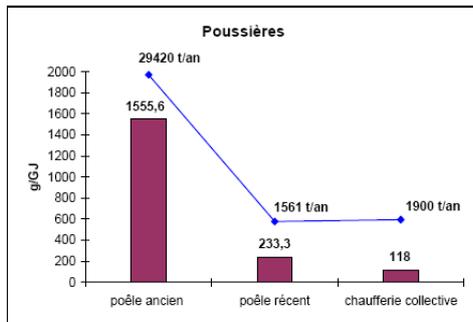
- 81% du bois consommé en France l'est par le secteur domestique ;

- Le combustible utilisé est de qualité très variable ce qui impact considérablement la qualité de la combustion ;
- Le parc d'appareils de chauffage au bois est ancien et la combustion y est mal maîtrisée.

Les graphiques suivants (source note Ademe-MEEDDAT, 2009) illustrent les différences d'émissions de polluants entre des appareils anciens, des appareils récents et des chaufferies collectives, par unité d'énergie produite (pour 1 GJoule produit).

Comme le montre la figure 4, pour une même quantité d'énergie produite, les poêles anciens émettent environ 4 à 7 fois plus de polluants atmosphériques (poussières, CO) que les poêles récents et 13 à 53 fois plus que les chaufferies collectives (à noter que la tendance est similaire pour les autres polluants).

Figure 4. Facteurs d'émission de poussières et de monoxyde de carbone, corrigés du rendement (en g/GJ sortant) pour un poêle ancien, un poêle récent et une chaufferie collective (Sources : ADEME, 2005c et CITEPA, 2003)



Ainsi, la combustion du bois dans des appareils neufs et *a fortiori* dans des chaudières automatiques permet de réduire considérablement l'impact de la combustion sur la qualité de l'air.

Principe d'implantation du silo

L'un des points clé de la réussite d'une installation de chaufferie bois est l'implantation du silo d'approvisionnement en bois. Ce silo doit être facilement accessible pour les livraisons de combustible : il doit permettre un remplissage aisé au moment de la livraison et dimensionné pour assurer une autonomie suffisante en chauffage.

La chaudière pourra être installée au même niveau que le silo. Si ce n'est pas le cas, un système de convoyage spécifique devra être prévu pour amener le combustible au niveau du corps de chauffe.

Silo pour bois déchiqueté

La livraison de bois déchiqueté en vrac s'effectue grâce à des camions de livraison ou des attelages tracteurs remorque : ce type de livraison par bennage nécessite une réflexion en amont sur l'accès à la parcelle et les manœuvres réalisables sur le site (rayon de courbure du véhicule).



Livraison par camion benne (source Aile)



Livraison par tracteur+remorque agricole (source Aile)

Si le site présente un dénivelé naturel, le silo pourra être conçu en aérien ou semi-enterré afin de limiter les frais de génie civil.

Dans le cas contraire, un silo enterré est incontournable (sauf dans le cas de chaudières de grosse puissance avec désilage par échelles carrossables).

Les silos doivent être étanches à l'eau et disposer d'un système d'aération du bois, souvent raccordé à la chaufferie

Le dispositif de fermeture du silo peut prendre plusieurs formes : trappes carrossables, trappe coulissante latéralement, trappe à ouverture verticale. Dans tous les cas, le dispositif devra être adapté aux dimensions du véhicule de livraison des plaquettes, et assurer la sécurité des intervenants autour de la livraison ainsi que l'étanchéité du silo.



Trappe coulissante



Trappe sur vérins hydrauliques
(source Compte.R)



Trappe coulissante latéralement

Silo pour granulés

L'approvisionnement en granulés étant plus simple à assurer que l'approvisionnement en plaquettes, la conception des silos est plus facile. La livraison du granulé est réalisée par camion souffleur. Cet approvisionnement se fait en aérien grâce à l'utilisation d'un tuyau flexible de soufflage, raccordé au silo par un raccord pompier. De fait, la chaufferie et le silo peuvent être :

- de plain-pied avec raccord pompier à hauteur accessible ;
- en sous-sol, avec raccord pompier rapporté au niveau du Rdc.



Pièce de réserve avec alimentation par vis
(source ÖkoFEN)



Livraison par camion souffleur

15.11. FICHE réseaux de chaleur

15.11.1. Définition

Un réseau de chaleur est un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur à plusieurs bâtiments pour répondre aux besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire.

Cette définition technique doit être complétée par une définition juridique qui distingue deux types de réseaux :

- **Chaufferie dédiée** qui utilise un réseau pour distribuer de la chaleur à des bâtiments appartenant au même maître d'ouvrage :

ex1 : chaudière communale qui dessert les écoles publiques, la mairie, la cantine et la médiathèque.

- Le producteur de chaleur qui exploite la chaufferie est juridiquement distinct des usagers consommateurs de la chaleur (au moins 2 usagers distincts) : c'est le **réseau de chaleur au sens juridique**.

ex2 : réseau qui dessert les écoles, le collège, le lycée et son internat, des logements sociaux.

15.11.2. Bouquet énergétique

Les réseaux de chaleur ont l'avantage de pouvoir mettre en œuvre un « bouquet énergétique » en tête de réseau : il est donc possible de mobiliser différentes ressources énergétiques permettant de garantir une stabilité des prix, une sécurité d'approvisionnement et d'assurer une certaine flexibilité (saisonniers notamment).

Les possibilités d'approvisionnement sont décrites dans le tableau suivant, surtout valable pour les « grands » réseaux urbains :

	Définition		Intérêt environnemental
Energies renouvelables et de récupération	Bois énergie	Valorisation par combustion de produits bois	Impact neutre sur l'effet de serre
	Biogaz	Produit à partir de matières organiques ou de digesteurs de stations d'épuration	Valorisation d'une ressource énergétique locale non fossile
	Chaleur issue de cogénération	Production simultanée de chaleur et d'électricité	Amélioration du rendement et réduction des émissions de CO ₂ par rapport à la production dissociée
	Géothermie profonde	Exploitations d'aquifères profonds, adaptée à de grosses installations, concentrées aujourd'hui dans le Bassin Parisien	Récupération de chaleur
	Usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM)	Valorisation de la chaleur produite par la combustion des déchets	Valorisation d'une ressource énergétique locale non fossile
	Valorisation de chaleur fatale	Chaleur produite par un site, un process et non valorisée sur le site	Utilisation d'une ressource existante
Energies fossiles	Gaz naturel, fioul, charbon	Energies fossiles valorisées par combustion	Aucun en dehors de la cogénération Impact fort sur l'effet de serre

Avantages des réseaux de chaleur

Les avantages des réseaux de chaleur sont de plusieurs types et résumés dans le tableau suivant :

Environnementaux	Réduction des émissions de polluants par la plus grande maîtrise de la combustion de systèmes centralisés et performants. Mobilisation des énergies renouvelables et notamment la biomasse : réduction de l'utilisation d'énergies fossiles et donc des émissions de gaz à effet de serre.
Optimisation énergétique	Les réseaux permettent d'utiliser de la chaleur non valorisée et optimisent donc le bilan énergétique de sites.
Service aux usagers	Distribution d'une chaleur dont le prix et la disponibilité sont attractifs par rapport à des systèmes indépendants peu maîtrisés ; exploitation centralisée indépendante des usagers.
Aménagement urbain	Dans le cadre d'aménagements de nouveaux quartiers ou de réhabilitations de quartiers existants, ce type d'installation apparaît comme un outil pertinent face à l'augmentation des prix des énergies fossiles et à la nécessaire démarche d'optimisation énergétique des territoires pour réduire l'impact environnemental et la dépendance liée aux énergies fossiles.

Figure 59 : Avantages des réseaux de chaleur

Les principales difficultés relèvent :

- de l'investissement : un investissement spécifique au réseau, à la chaufferie et au stockage du combustible ;
- de la difficulté du dimensionnement, notamment lié au phasage des opérations de construction..

15.11.3. Valorisation des réseaux de chaleur ENR dans la RT 2012

La RT 2012 valorise les réseaux de chaleur vertueux c'est-à-dire, entre autres, émettant peu de CO₂ par kWh distribué. Ces réseaux doivent pour ce faire mobiliser des énergies renouvelables et de récupération dans leur mix énergétique.

Le tableau suivant présente les coefficients applicables pour moduler le Cepmax en fonction du contenu CO₂ du réseau, dans le cas de bâtiments raccordés à un réseau de chaleur :

Contenu CO ₂ du réseau en g/kWh	<50	Entre 50 et 100	Entre 100 et 150	>150
Modulation du Cepmax	+30%	+20%	+10%	0%

Figure 60 : Modulations applicables au Cepmax en fonction du contenu CO₂ du réseau.

La conséquence directe est une modulation favorable de la limite haute de consommation d'énergie primaire pour les bâtiments raccordés à un réseau. Le tableau suivant présente un exemple de modulation :

Cep max modulé en fonction du contenu CO ₂ du réseau de chaleur						
Occitanie	Cepmax	Cepmax avec bois énergie	<50 g/kWh	Entre 50 et 100 g/kWh	Entre 100 et 150 g/kWh	>150 g/kWh
Maisons individuelles	55	70	70	65	60	55
Logements collectifs	55	70	70	65	60	55
Logements collectifs	63.25	80.5	80.5	74.75	69	63.25