

Aménagement urbain la Janais

Etude sur le potentiel de développement des énergies renouvelables

Article L. 128.4 du Code de l'Urbanisme



Le sens de la performance énergétique

Table des matières

1.	Synthèse non technique de l'étude.....	5
2.	Les orientations du projet liées à l'énergie	7
2.1.	Propositions d'actions	7
2.1.1.	Sobriété énergétique des bâtiments :.....	7
2.1.2.	Développement des énergies renouvelables.	8
2.1.1.	Mobilité durable.....	8
2.2.	Actions retenues.....	8
3.	Préambule	8
3.1.	Contexte de la future zone d'aménagement concertée	8
3.2.	Principe et méthode de l'étude.....	8
4.	Des engagements internationaux à la réglementation des documents d'urbanisme.....	9
4.1.	Processus de lutte contre le réchauffement climatique	9
4.1.1.	Processus international	9
4.1.2.	Processus européen et national.....	10
4.2.	Des engagements internationaux aux PLUi puis permis d'aménager ou construire.....	10
4.3.	Contexte réglementaire	12
5.	Présentation de la zone d'étude.....	13
5.1.	Positionnement géographique	13
5.2.	Contexte et périmètre d'étude	13
5.3.	Végétation et bâti existant	14
5.4.	Programmation et schéma d'aménagement étudié	15
6.	Phase 1 : Potentiel de mobilisation des énergies renouvelables	16
6.1.	Énergies fossiles disponibles	16
6.2.	Les énergies renouvelables et de récupération	16
6.2.1.	Inventaire des énergies renouvelables disponibles et pertinence sur le projet	16
6.2.2.	L'énergie solaire.....	18
6.2.3.	L'énergie bois	20
6.2.4.	L'énergie éolienne (production d'électricité).....	23
6.2.5.	La géothermie (production de chaleur et d'électricité)	25
6.2.6.	La récupération d'énergie sur les eaux usées	27
6.2.7.	Application	29
6.3.	Innovations liées à la production d'électricité	30
6.3.1.	L'autoconsommation.....	30
6.3.2.	Les smartgrid	31
6.4.	Synthèse des énergies renouvelables mobilisables sur site.....	32
7.	Phase 2 : Détermination des consommations d'énergie du projet	35
7.1.	Usages énergétiques attendus	35
7.2.	Les usages liés aux bâtiments.....	35
7.2.1.	Cas particulier de l'électricité domestique :	36

7.3.	Hypothèses de calcul	36
7.4.	Calcul des besoins énergétiques en fin d'opération.....	36
8.	Phase 3 : Taux de Couverture des besoins de la zone par les ENR.....	38
8.1.	Production de chaleur et/ou d'électricité par énergie solaire	38
8.2.	Production de chaleur par géothermie	39
8.3.	Production de chaleur par Aérothermie	39
8.4.	Production de chaleur par Bois énergie	39
8.5.	Synthèse	40
9.	Phase 4 : Etude de l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables	40
9.1.	Comparaison des consommations en énergie finale	42
9.2.	Comparaison des coûts de fonctionnement actualisés sur 20 ans	42
9.3.	Comparaison des émissions de gaz à effet de serre.....	45
9.4.	Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne	45
9.5.	Synthèse de l'analyse des scénarios d'approvisionnement en énergie	47
10.	Phase 6 : Etude d'opportunité de création d'un réseau de chaleur alimenté par les ENR	47
10.1.	Etude d'opportunité d'un réseau de chaleur sur le secteur.....	47
10.2.	Notion de densité énergétique pour un réseau de chaleur	48
10.2.1.	Hypothèses de consommations énergétiques considérées	48
10.3.	Etude d'opportunité	48
10.3.1.	Analyse qualitative	48
10.3.2.	Conclusion :	49
11.	Phase 6 : Pistes de mesures compensatoires	50
11.1.	Principe de la compensation carbone	50
11.2.	Compensation carbone volontaire	50
11.3.	Compensation carbone par des actions locales	51
11.4.	Proposition de mesures compensatoires :	51
11.4.1.	Production locale d'électricité.....	51
11.4.2.	Stockage de carbone : plantation de biomasse.....	53
12.	L'éclairage public.....	55
12.1.	Rôles de l'éclairage public	55
12.2.	Enjeux pour un projet d'aménagement	55
12.3.	Quelques préconisations.....	56
13.	Synthèse des avantages et contraintes des énergies renouvelables étudiées	58
14.	Propositions d'actions spécifiques liées à l'énergie	60
15.	ANNEXES : FICHES TECHNIQUES sur les énergies renouvelables	63
15.1.	FICHE Energie solaire généralités	63
15.2.	FICHE Energie solaire thermique.....	67
15.2.1.	Rappel sur le solaire thermique	67
15.2.2.	Préconisations	68
15.3.	FICHE Energie solaire photovoltaïque	69
15.3.1.	Membranes d'étanchéité photovoltaïques.....	69

15.3.2.	<i>Panneaux de silicium</i>	69
15.4.	FICHE Pompes à chaleur	70
15.5.	FICHE Energie éolienne	71
15.5.1.	<i>Présentation</i>	71
15.5.2.	<i>Grand éolien</i>	71
15.5.3.	<i>Petit éolien</i>	71
15.6.	FICHE Géothermie	74
15.6.1.	LA GÉOTHERMIE TRÈS BASSE ÉNERGIE (TEMPÉRATURE INFÉRIEURE À 30°C)	74
15.6.2.	La géothermie basse énergie (30 à 90°C)	74
15.6.3.	La géothermie moyenne énergie (90 à 150°C)	74
15.6.4.	La géothermie haute énergie (température supérieure à 150°C)	74
15.7.	FICHE : Récupération d'énergie sur les eaux usées	77
15.8.	FICHE énergie marines renouvelables en Bretagne	79
15.9.	FICHE Réglementation pour l'installation d'une petite centrale hydroélectrique	82
15.9.1.	<i>Droit d'eau</i>	82
15.9.2.	<i>Droit de l'environnement</i>	82
15.9.3.	<i>Enquête publique</i>	82
15.9.4.	<i>Raccordement au réseau</i>	82
15.10.	FICHE Bois énergie : solutions collectives	83
15.10.1.	<i>Principe de fonctionnement des chaudières automatiques</i>	83
15.10.2.	<i>Combustible</i>	83
15.10.3.	Gamme de puissance	85
15.10.4.	Chaudières bois et qualité de l'air	85
	Principe d'implantation du silo	86
	Silo pour bois déchiqueté	86
	Silo pour granulés	87
15.11.	FICHE réseaux de chaleur	88
15.11.1.	Définition	88
15.11.2.	Bouquet énergétique	88

1. Synthèse non technique de l'étude

Cette étude a permis de déterminer les sources d'énergies renouvelables pouvant être mobilisées sur le futur projet.

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 en cours de structuration
Solaire passif	++	Orientation majoritairement Sud des bâtiments Attention à la pente du terrain Conception bioclimatique (maximiser les apports solaires en hiver, s'en protéger en été)
Solaire thermique	++	ECS solaires thermiques en toiture et/ou brises-soleil (étude approfondie à réaliser). Orientation sud des toitures ou toits terrasses. Réaliser un modèle 3D pour évaluer précisément l'ensoleillement et notamment les ombres portées des bâtiments. Uniquement pertinent sur des bâtiments avec de forts besoins de chaleur pour l'ECS ou des process.
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
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.
Aérothermie	+++	
Chaleur fatale des eaux usées	++	-Bâtiment de taille significative avec besoins d'ECS + évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes -Valorisation possible -Production collective d'ECS
Éolien	-	Site en zone d'exclusion éolien

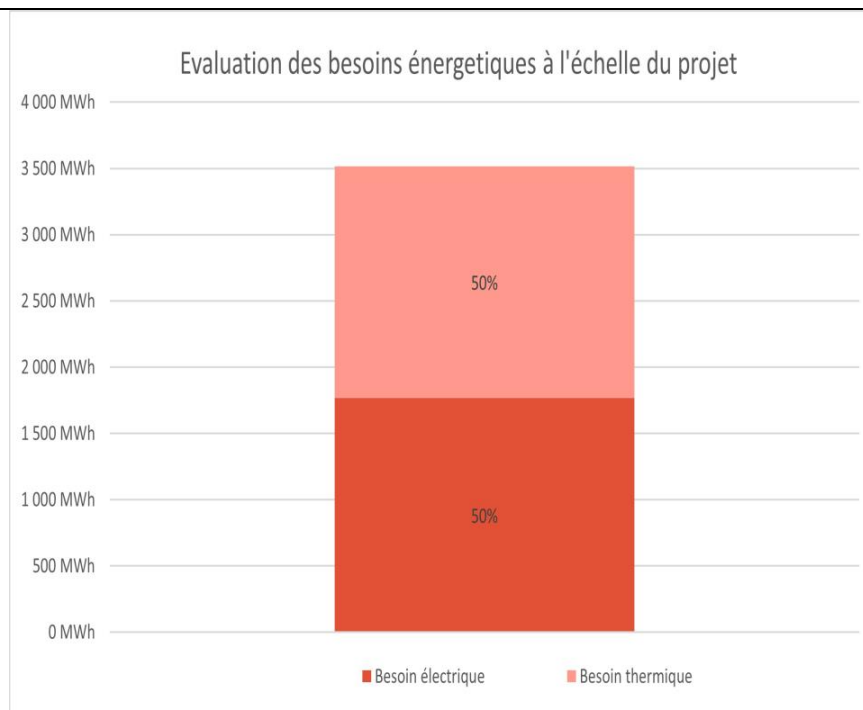
➔ L'énergie solaire passive et active, l'énergie bois, la récupération d'énergie sur les eaux usées ou sur les process présentent un potentiel de développement.

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

Programmation :

35 000m² SDP regroupant diverses activités (enseignement, bureaux, petite industrie ...)

Besoins du site :



Taux de couverture par les ENR

Attention, concernant les fortes incertitudes quant à la programmation du projet, des activités hébergées et des surfaces bâties, les résultats ci dessous représentent un ordre d'idée. Les résultats en exploitation pourraient être significativement différents.

ENR		Taux de couverture moyen par les EnR			
Technologie	Caractéristiques	Productible MWh/an	Chaleur	Electricité	Total Energie
Panneaux Solaire thermique	Inclinaison 30° Orientation: S-E	0	0%	0%	0%
Panneau Solaire photovoltaïque	Inclinaison 30° Orientation: S-E	1434	0%	81%	41%
Chaufferie bois granulés		1750	100%	0%	50%
Chaufferie bois plaquette		1750	100%	0%	50%
PAC géothermique	COP 3,5	1243	71%	0%	36%
PAC eau	COP 2.7	1103	63%	0%	31%

- 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 en fonction du découpage parcellaire et de l'implantation des bâtiments. Toutefois, des surfaces supplémentaires pourraient être exploitées en ombrière de parking et en façade de bâtiment.
- Selon les hypothèses retenues, la production photovoltaïque pourrait couvrir une large part des besoins énergétiques annuels du projet. Toutefois ce résultat est soumis aux hypothèses de consommation par défauts. Si des sites avec du processus industriel étaient présents (besoins énergétiques nettement supérieurs) les résultats seraient significativement différents.
- Selon nos hypothèses, la production PV pourrait couvrir une part significative des besoins électriques de la zone. Le développement de cette énergie est à encourager. Toutefois le bon bilan annuel de la production photovoltaïque ne signifie pas que la zone s'approcherait de l'autonomie énergétique. En effet il s'agit d'un bilan production/consommation annuel (voir prospective → production locale d'électricité).

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 Energie Primaire	Faible consommation en Energie finale	Impact sur l'effet de serre	Coût Global sur 20 ans	Taux d'utilisation d'ENR	Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne
0-GAZ						
2-aérothermique						
3-Géothermie						
1-Biomasse						

LÉGENDE	Scénario	Réponse Favorable	Réponse mitigée ou adaptée partiellement au critère	Réponse Défavorable ou inadaptée
----------------	-----------------	-------------------	---	----------------------------------

Figure 1 : Évaluation des scénarios d’approvisionnement étudiés au regard de critères environnementaux et économiques

Les scénarios S1 (biomasse) et S3 Géothermie présentent une réponse aux critères d’analyse plus adaptée, mais aucun scénario ne se détache particulièrement par rapport aux autres.

La moindre compatibilité des scénarios « géothermie/aérothermie » avec le pacte électrique breton pourrait être compensée par l’implantation de panneaux photovoltaïques en toiture et ombrières. Auquel cas ces solutions seraient particulièrement adaptées. L’autoconsommation électrique permettrait par ailleurs d’améliorer le bilan financier car l’inflation serait alors maîtrisée.

Le tableau suivant présente la synthèse des impacts estimés par les consommations énergétiques :

	Consommation énergétique annuelle estimée (MWh/an)		Emission de GES induites par l’énergie en Teq CO2/an		Surface forestière à planter (ha) pour compenser les émissions équivalentes totales sur 50ans		Surface forestière à planter (multiple de la surface de la zone)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Bâtiments	2268	3748	129	491	7	27	0,3	1,2

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

La compensation carbone des émissions induites à l’échelle du projet (consommation directe d’énergie pour les bâtiments) nécessiterait le boisement de 0.3 à 1.2 fois la surface aménagée.

2. Les orientations du projet liées à l’énergie

2.1. Propositions d’actions

Nous proposons les actions suivantes qui nous semblent adaptées au projet et qui seront à lier et adapter au du PCAET du territoire.

2.1.1. Sobriété énergétique des bâtiments :

Le projet implique la construction de bâtiments industriels probablement non soumis à la future réglementation thermique. Ainsi, il est difficile d’imposer des exigences de consommation d’énergie sur ces bâtiments. Toutefois, des garde-fous sur la composition des parois des locaux non soumis à la réglementation pourraient être envisagés en reprenant les valeurs définies dans la RTex. Les bâtiments construits devront par ailleurs respecter les objectifs du décret tertiaire. Les autres bâtiments (bureaux, enseignements) devront respecter la RE2020 qui constitue de base un excellent niveau de performance.

2.1.2. Développement des énergies renouvelables.

Le développement du photovoltaïque pourrait selon nos hypothèses couvrir une part significative des besoins électrique. Les exigences suivantes pourraient être intégrées dans le cahier des charges de cession de lot :

- Toiture mono-pente ou plate orientée et dimensionnée (structurellement) pour accueillir des panneaux photovoltaïques
- Couverture d'au moins 60% de la surface de la toiture par des panneaux PV.
- Implantation d'ombrières de parking équipé de panneaux photovoltaïques.
 - Des solutions de 1/3 financement, autoconsommation collective, financements participatifs pourraient être envisagées.

Si une entreprise avait des besoins de chaleur important, le bois et le solaire thermique seraient adaptés.

2.1.1. Mobilité durable.

L'aménagement pourrait intégrer :

- Des bornes de recharges pour véhicules électriques (à lier avec le développement du photovoltaïque)
- Un parking pour le covoiturage.
- Des aménagements cyclables et un parking sécurisé pour les vélos.
- Une borne de recharge pour véhicules GPL/GNV

2.2. Actions retenues

Les orientations du projet liées à l'énergie sont reprises dans l'étude d'impacts.

3. Préambule

3.1. Contexte de la future zone d'aménagement concertée

Situé au Sud-Ouest de la Métropole rennaise entre les communes de Saint-Jacques de la Lande et Chartres de Bretagnes, le site PSA de La Janais s'inscrit dans un réseau de zones d'activités et industrielles et bénéficie d'une très bonne desserte routière (RD837, RD177, Rocade Sud de Rennes) et de la proximité de l'aéroport.

Dans le cadre de la restructuration de l'usine de PSA de la Janais, Eiffage Aménagement s'est porté acquéreur d'une partie du tènement foncier de l'usine.

3.2. 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.

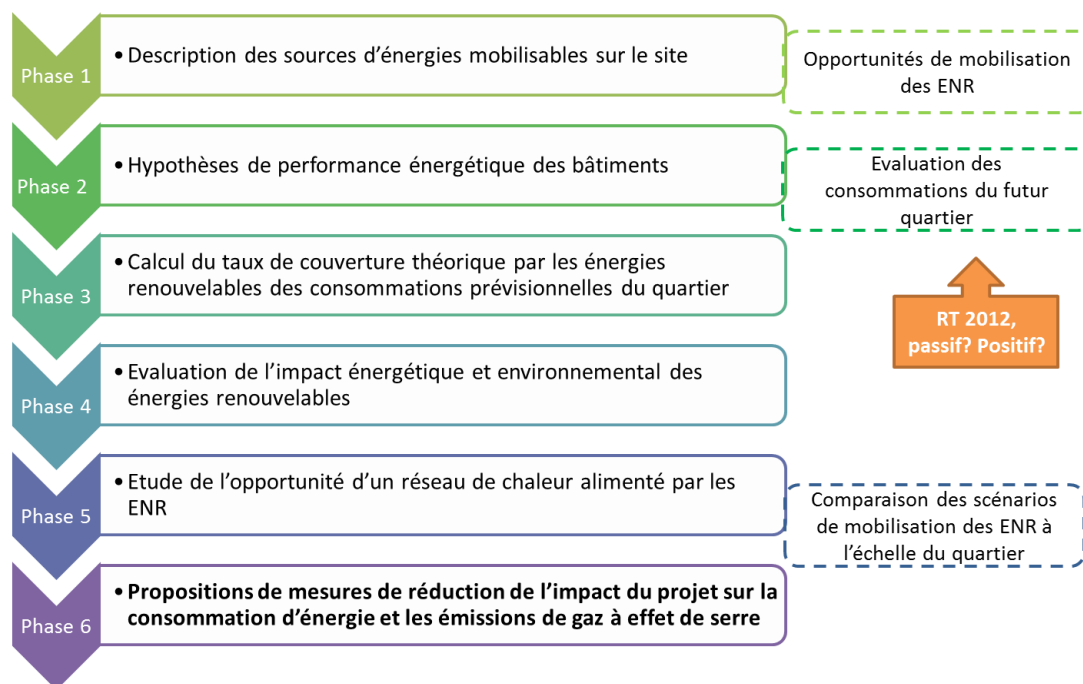
L'article L-300-1 du Code de l'Urbanisme précise que : « *Toute action ou opération d'aménagement faisant l'objet d'une évaluation environnementale doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de 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.

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 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 Etats 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

Le cadre d'action en matière de climat et d'énergie à l'horizon 2030, adopté par le Conseil européen en octobre 2014 puis révisé en 2018, définit les objectifs suivants à horizon 2030 :

- Réduire de 40 % les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2020 par rapport à 1990 ;
- Porter à 32% **la part d'énergies renouvelables** dans la consommation en Union Européenne en 2020
- Augmenter de 32,5 % l'efficacité énergétique – soit une diminuer de 32,5 % la consommation d'énergie par rapport au scénario de référence, le scénario Baseline 2007

En France, la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 ou loi sur la Transition Energétique pour la Croissance Verte (LTECV) 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 LTECV sont déclinés localement dans les documents de planification de nature stratégique ou réglementaires.

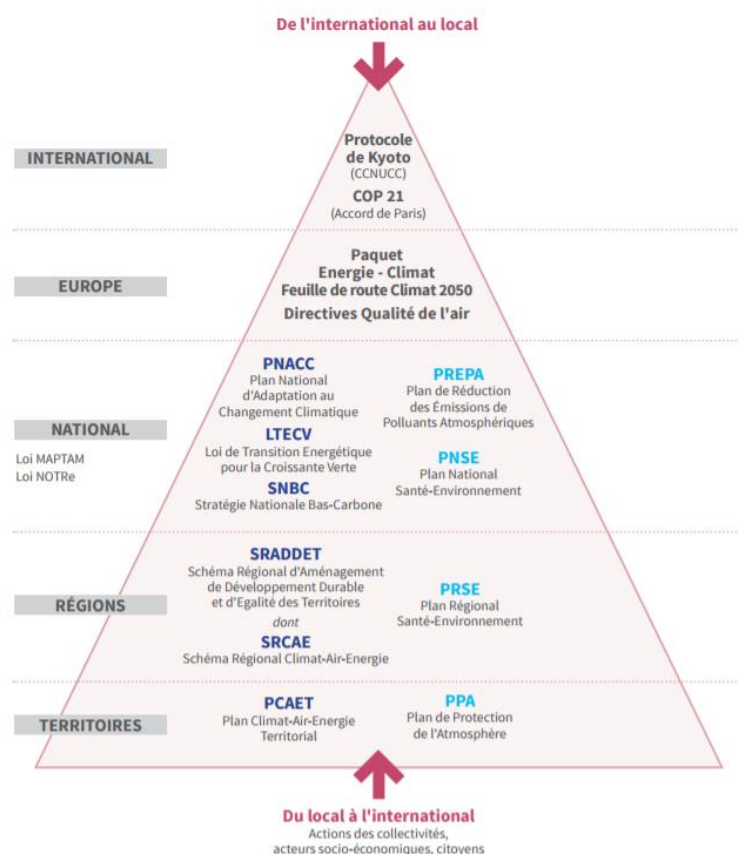


Figure 3: Des engagements internationaux aux objectifs locaux (source ADEME www.territoires-climat.ademe.fr)

Le SRCAE de la région Bretagne, voté en décembre 2020 définit les grandes orientations et les objectifs régionaux à l'horizon 2040. Il est notamment question de faire de « Une bretagne, terre de progrès humains et écologiques pour les générations actuelles et futures ».

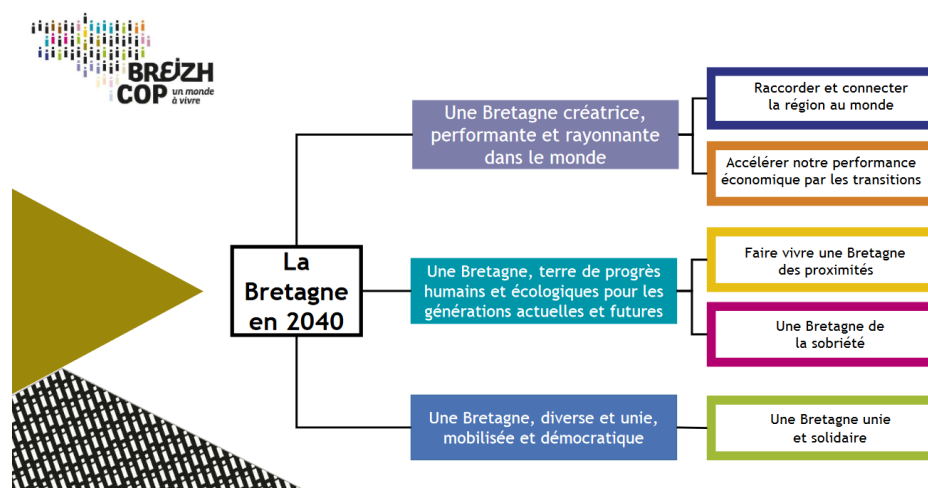


Figure 4: Objectifs du SRADDET

La LETCV impose à tous les EPCI de plus de 20 000 habitants de rédiger avant le 31 décembre 2018 leur PCAET. Comme son prédécesseur le PCET, est un outil de planification qui a pour but d'atténuer le changement climatique, de développer les énergies renouvelables et maîtriser la consommation d'énergie. Contrairement à ce dernier, il impose désormais de traiter de la qualité de l'air.

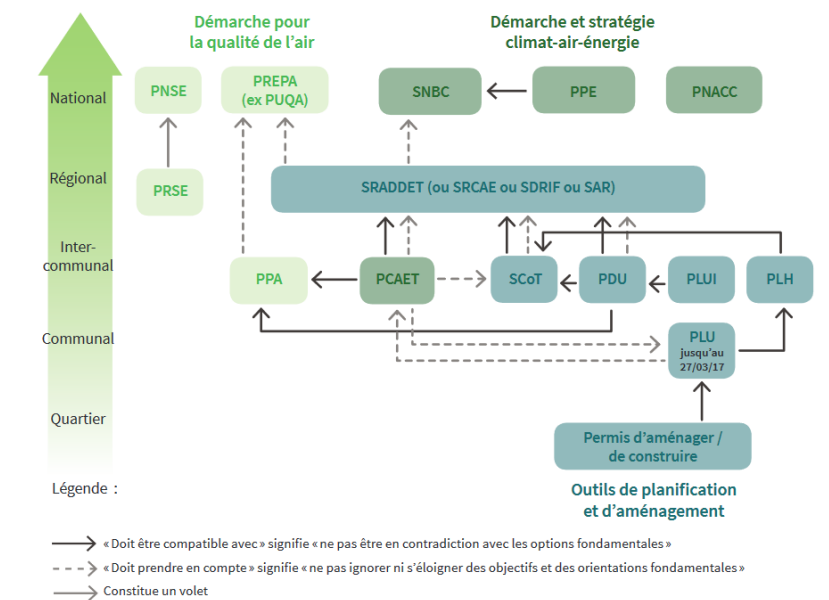


Figure 5: Articulation juridique des documents de planification

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

4.3. Contexte réglementaire

- La nouvelle réglementation environnementale des bâtiments neufs (la « RE2020 ») a été prévue par la loi « Évolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique » (ELAN), pour une entrée en vigueur qui interviendra à partir du 1er janvier 2022. Son enjeu majeur est de diminuer significativement les émissions de carbone du bâtiment. Elle repose pour cela sur une transformation progressive des techniques de construction, des filières industrielles et des solutions énergétiques, afin de maîtriser les coûts de construction et de garantir la montée en compétence des professionnels. Forte de ses objectifs réaffirmés – diminuer l'impact carbone des bâtiments, réduire les consommations d'énergie et mieux prendre en compte le confort d'été –, la RE2020 sera ambitieuse et exigeante. Les arrêtés traduisant la RE2020 s'appliquent à compter du 1er janvier 2022 à la construction de bâtiments à usage d'habitation, puis à partir du 1er juillet 2022 aux constructions de bâtiments de bureaux ou d'enseignement primaire ou secondaire soumis à la RE 2020.
- L'arrêté du 5 février 2020 (publié au JO le 29 février) pris en application de l'article L. 111-18-1 du code de l'urbanisme, lui-même créé par l'article 47 de la loi relative à l'énergie et au climat du 8 novembre 2019 est venu reprendre une obligation du code de l'urbanisme favorisant le développement des énergies renouvelables pour des constructions de surfaces importantes. Les constructions et installations de plus de 1000 m² d'emprise au sol doivent ainsi intégrer, au choix, des dispositifs de végétalisation ou de production d'énergies renouvelables.
- À partir du 1er juillet 2023, ce sera l'article L. 171-4 du code de la construction et de l'habitation introduit par l'article 101 de la Loi Climat et Résilience imposera :
 - 30% en surface de production d'énergie pour :
 - Les constructions de bâtiments ou parties de bâtiment à usage commercial, industriel ou artisanal, aux constructions de bâtiments à usage d'entrepôt, aux constructions de hangars non ouverts au public faisant l'objet d'une exploitation commerciale et aux constructions de parcs de stationnement couverts accessibles au public, lorsqu'elles créent plus de 500 mètres carrés d'emprise au sol de plus de 500 m²,
 - Les bâtiments de bureaux de plus de 1000 m²

Par ailleurs, les parcs de stationnement extérieurs de plus de 500 mètres carrés associés aux bâtiments ou parties de bâtiment auxquels s'applique l'obligation prévue à l'article L. 171-4 du code de la construction et de

l'habitation ainsi que les nouveaux parcs de stationnement extérieurs ouverts au public de plus de 500 mètres carrés doivent intégrer sur au moins la moitié de leur surface des revêtements de surface, des aménagements hydrauliques ou des dispositifs végétalisés favorisant la perméabilité et l'infiltration des eaux pluviales ou leur évaporation. Ces mêmes parcs doivent également intégrer des dispositifs végétalisés **ou des ombrières** concourant à l'ombrage desdits parcs sur au moins la moitié de leur surface, dès lors que l'un ou l'autre de ces dispositifs n'est pas incompatible avec la nature du projet ou du secteur d'implantation et ne porte pas atteinte à la préservation du patrimoine architectural ou paysager.

- Le décret tertiaire défini par l'article 175 de la loi ELAN (loi portant Évolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique) impose des objectifs de réduction des consommations ou l'atteinte de valeurs de consommation maximale en kWh/m² à tous les bâtiments tertiaires de plus de 1000m².

5. Présentation de la zone d'étude

5.1. Positionnement géographique

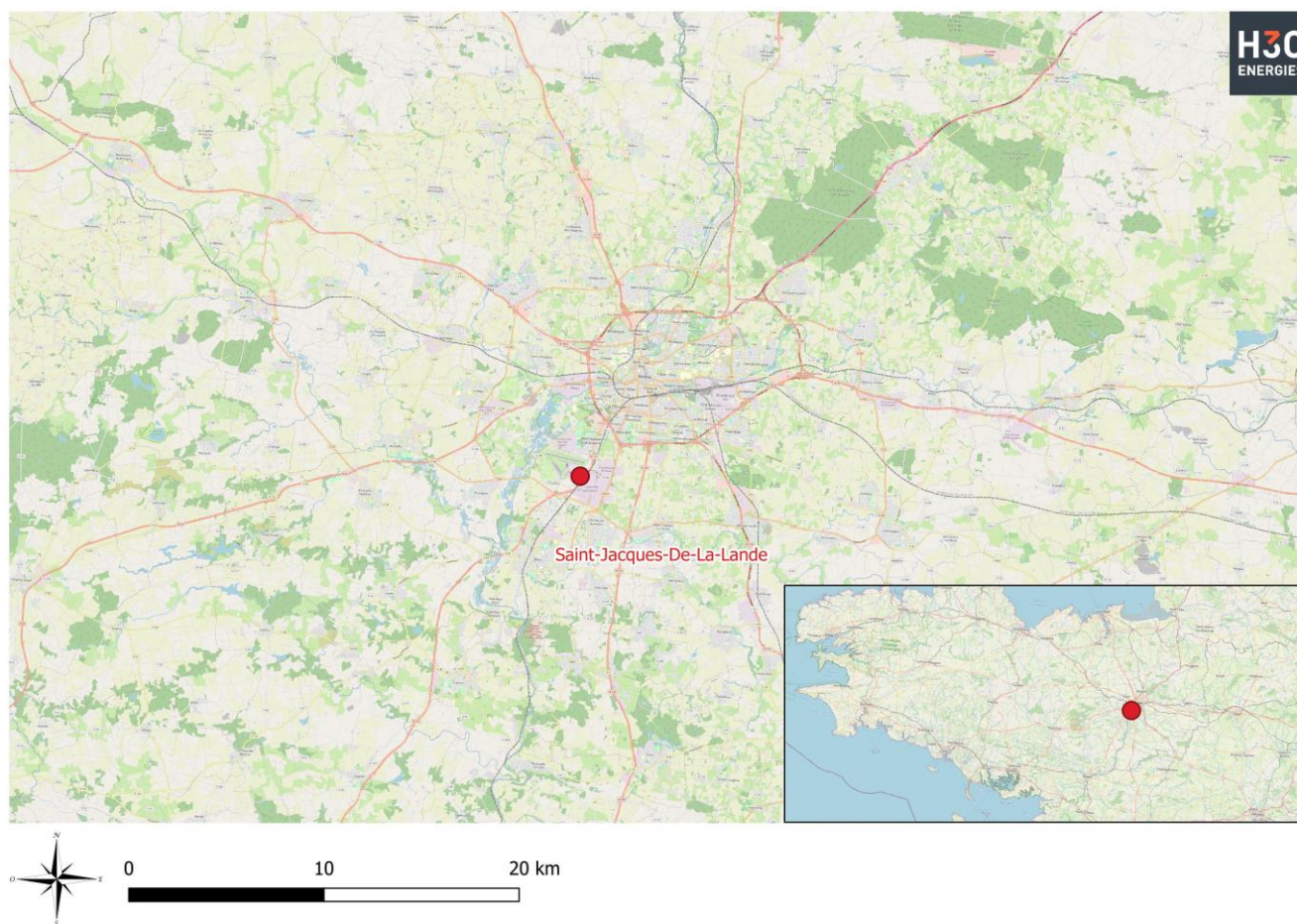


Figure 6 : Localisation du projet (Source : Géo bretagne)

Situé au Sud-Ouest de la Métropole rennaise entre les communes de Saint-Jacques de la Lande et Chartres de Bretagnes, le site PSA de La Janais s'inscrit dans un réseau de zones d'activités et industrielles et bénéficie d'une très bonne desserte routière (RD837, RD177, Rocade Sud de Rennes) et de la proximité de l'aéroport.

5.2. Contexte et périmètre d'étude

Dans le cadre de la restructuration de l'usine de PSA de la Janais, Eiffage Aménagement s'est porté acquéreur d'une partie du tènement foncier de l'usine.

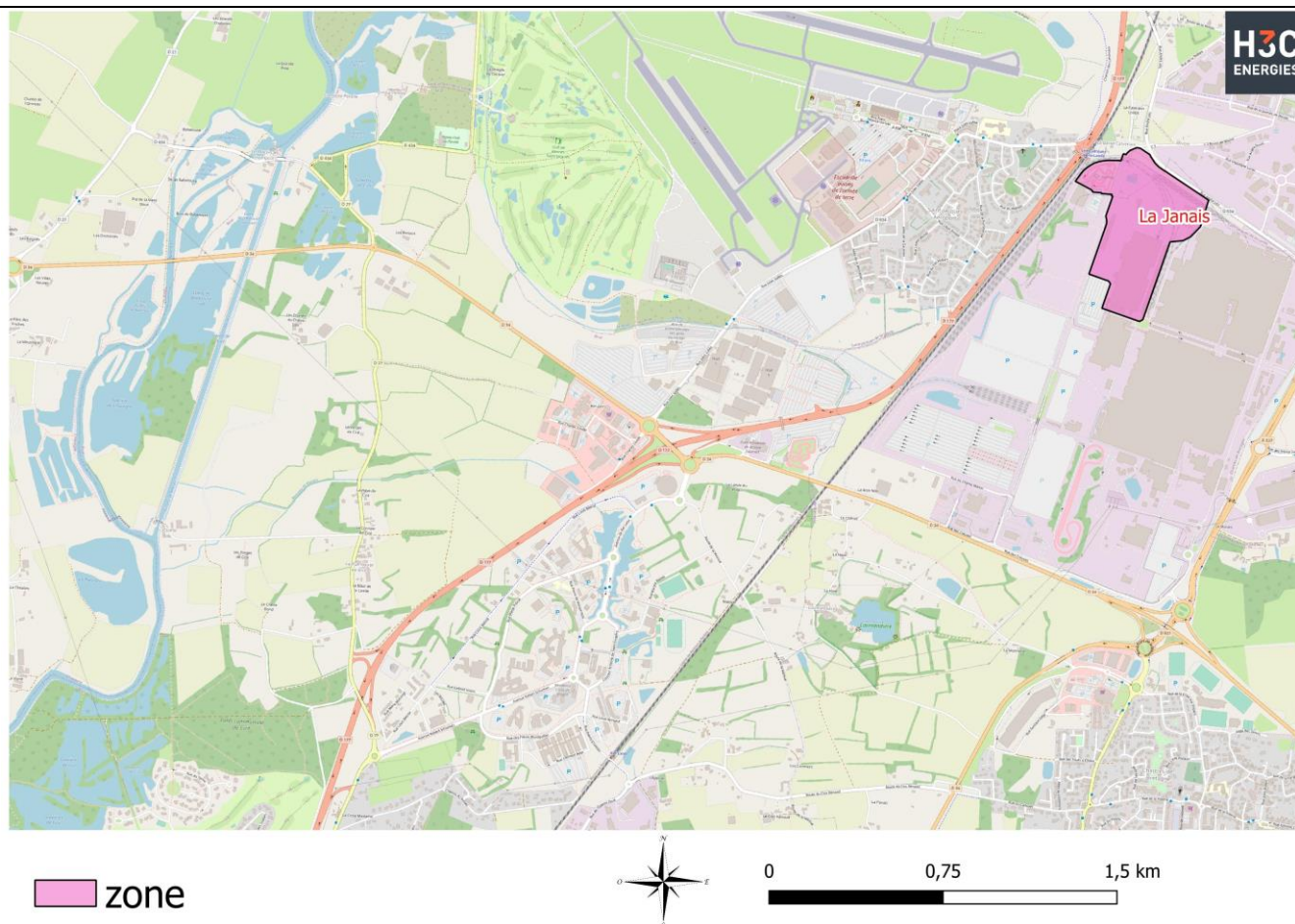


Figure 7: Périmètre général d'aménagement.

5.3. Végétation et bâti existant



Figure 8: Vue Aérienne

Le projet se situe sur une zone industrielle existante. La consommation électrique des bâtiments existants est favorable au développement d'une autoconsommation collective électrique.

5.4. Programmation et schéma d'aménagement étudié

La programmation du site n'est pas encore arrêtée. Par default les consommations des bâtiments seront issues des objectifs en valeurs absolue du « décret tertiaire » pour 2030 pour les bureaux

On retient une surface de plancher créée de 35 000 m².

6. Phase 1 : Potentiel de mobilisation des énergies renouvelables

6.1. Énergies fossiles disponibles

ENERGIE	ATOUTS/AVANTAGES	CONTRAINTES/INCONVENIENTS	COMMENTAIRES H3C
ELECTRICITE	Disponibilité	Coût élevé Faible rendement global Gestion des déchets nucléaires Contexte tendu en hiver en Bretagne > péninsule électrique avec risque de black-out.	A réserver aux usages spécifiques : éclairage, bureautique, électroménagers
GAZ NATUREL	Disponibilité	Émetteurs de GES, Prix volatile sur les marchés	
FIOUL	-	Très fort impact environnemental	Non envisageable sur l'opération
PROPANE	Impact environnemental plus limité que le fioul	Positionnement des cuves ou réseau gaz	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 : incompatibilité potentielle
		Petit et micro	Il est préférable d'être un site dégagé avec des vents majoritairement unidirectionnels. Le potentiel est donc limité en milieu urbain et nécessite des études précises.
Hydraulique	Electricité	Grand (marine)	Le projet ne se situe pas à proximité immédiate de la mer.
		Moyen (rivière)	Site en centre urbain, construction d'un ouvrage hydroélectrique inenvisageable. > 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.
		Très basse énergie sur sondes verticales	Solution adaptée au contexte mais nécessitant des forages pour évaluer le potentiel.
		Très basse énergie sur sondes horizontales	En milieu urbain, solution de géothermie la moins adaptée et la moins performante. La densité et l'emprise au sol des bâtiments excluent la faisabilité d'un tel système. Solution plutôt réservée pour l'habitat individuel rural car elle requiert beaucoup de surface au sol.
Aérothermie	Chaleur/ Froid	Pompe à chaleur	Solution adaptée
Méthanisation/ biogaz	Chaleur/ Electricité		Solution non adaptée au contexte de l'opération.
Biopropane	Chaleur	Identique solution propane classique	Solution adaptée au projet.
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.

¹ STEP = Station de Traitement des Eaux Usées

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 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.

Le 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 Bretagne :

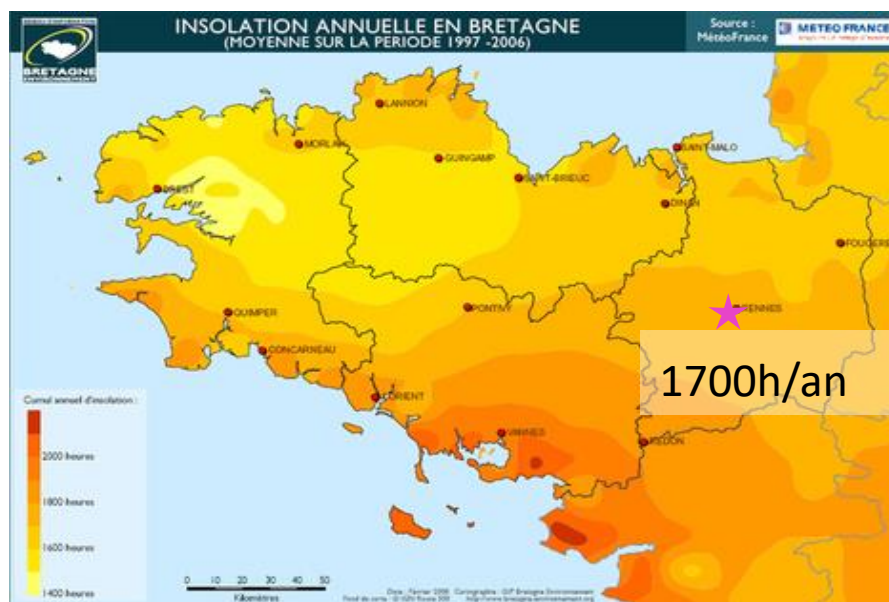


Figure 9: Insolation annuelle de la Bretagne (Source Bretagne Environnement)

- L'insolation annuelle de la commune de **Saint Jacques de La Lande** est comprise entre **1 700 et 1 800 heures**.
L'énergie reçue est d'environ **1 200 kWh/m²/an**.

(b) Sur le site

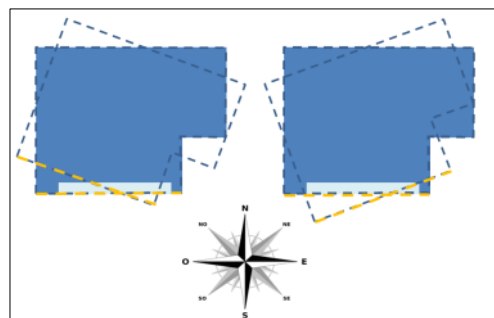
Sur les 3 secteurs, les masques générés par les bâtis existants devront être pris en compte tout comme l'ombre portée qui pourra être créée par les nouvelles constructions ; la préservation du droit au soleil de l'existant devra être respectée

6.2.2.3) Prédiposition 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. 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)



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.

Figure 10 : Orientation optimale des façades principales : Sud +/- 20°



Eviter les masques et les ombres portées

Echelle	Solaire Passif	Solaire thermique	Solaire photovoltaïque
Zone d'étude	- Respect des distances impliquées par les ombres portées		
Bâtiment	- Façades et ouvertures principales au Sud + / - 20° - Protections solaires adaptées	Réserver l'énergie solaire thermique aux bâtiments à fort besoins en ECS	Production d'énergie à considérer après l'optimisation énergétique du bâtiment (par exemple prévoir une structure de toiture adaptée pour recevoir des panneaux ultérieurement)
		- Orientation Sud +/- 25° ; Inclinaison de 45° environ - Limiter les ombres et les masques (bâtiments proches, végétation)	

Figure 11: Préconisation pour l'optimisation des apports solaires

6.2.2.4) Exemple d'intégration de photovoltaïque sur des bâtiments de zone industrielle et commerciale.



Dans le cadre de l'agrandissement de sa plateforme logistique Grand-Ouest à Melesse, Biocoop s'est associé à Energie Partagée et Enercoop pour la mise en place de la plus grande centrale photovoltaïque citoyenne, avec une puissance de 300 kWc, en autoconsommation de Bretagne. D'une surface de 2 000 m², elle produira 300 MWh chaque année, soit l'équivalent de la consommation annuelle de 120 foyers (sur la base de la consommation énergétique d'un foyer BBC de 2 500 kWh/an) et de 45T annuelles de CO₂ évitées. Celle-ci, financée par les citoyens via Énergie Partagée, produira une électricité 100% renouvelable, qui sera vendue « sur place » à Biocoop pour sa consommation.



Depuis le 16 novembre 2017, le parking de l'Intermarché de Lanriec-Concarneau (Finistère) est couvert de 1 900 m² de panneaux photovoltaïques. Ils produisent 280 MWh soit environ 20 % de la consommation électrique du site.

6.2.3. L'énergie bois

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

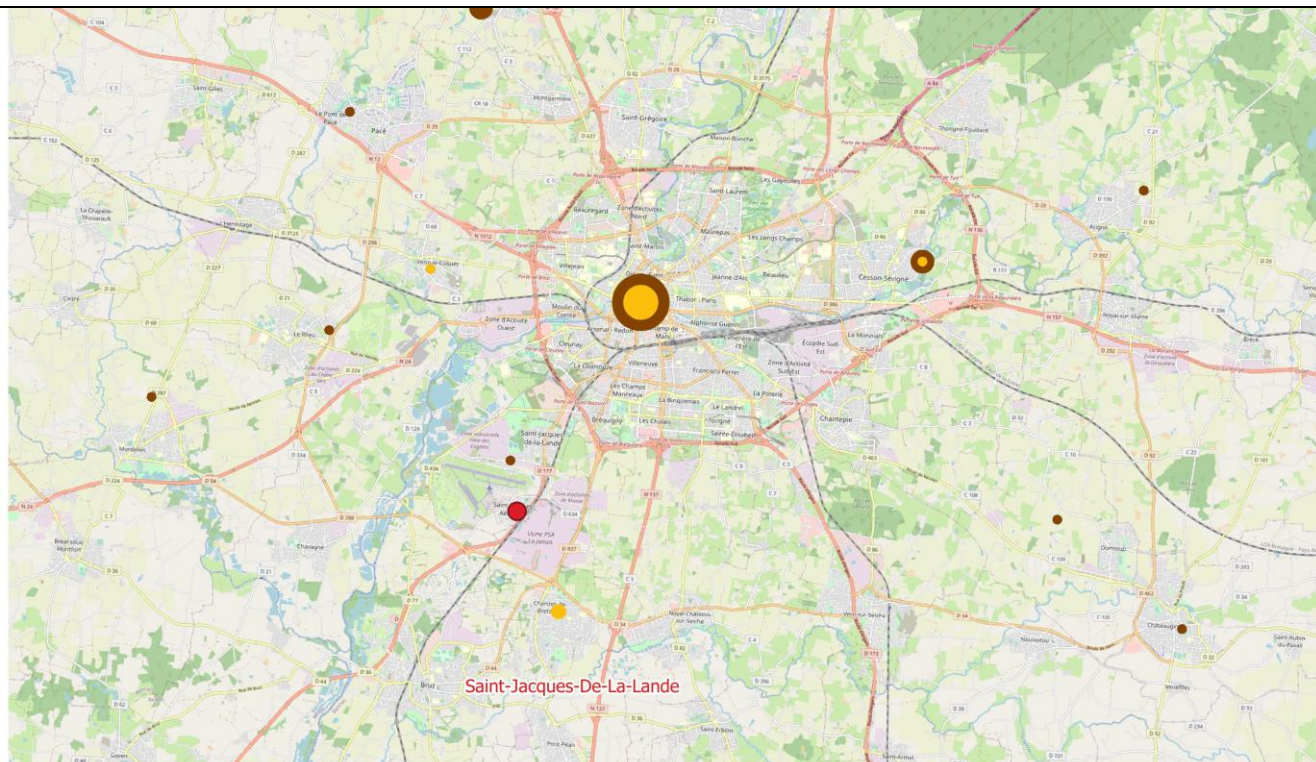
- **Renouvelable** : le bois est une source renouvelable puisqu'il peut être planté en quantité et disponible pour la production énergétique dans un délai cohérent par rapport à notre échelle de temps (quelques années à quelques dizaines d'années) ;
- **Neutre pour l'effet de serre** : dans le cadre 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 le secteur. Il conviendra cependant de valider la filière de livraison pour s'assurer de la disponibilité du bois sur le moyen terme.



Réseaux de chaleur en 2016 (GWh thermiques) - Bretagne Puissance des chaufferies au bois déchiqueté en 2016 (MW) - Bretagne



Carte des chaufferies bois déchiqueté à proximité de Moréac
(Source : geobretagne.fr)

L'énergie bois est disponible sur le territoire sous différentes formes et la filière est en pleine structuration en Bretagne :

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

En Bretagne, on compte fin 2015 plus de 420 000 tonnes de bois déchiqueté consommées chaque année.

Ce bois provient d'une quarantaine de fournisseurs bretons (95% du bois)

ou ligériens.

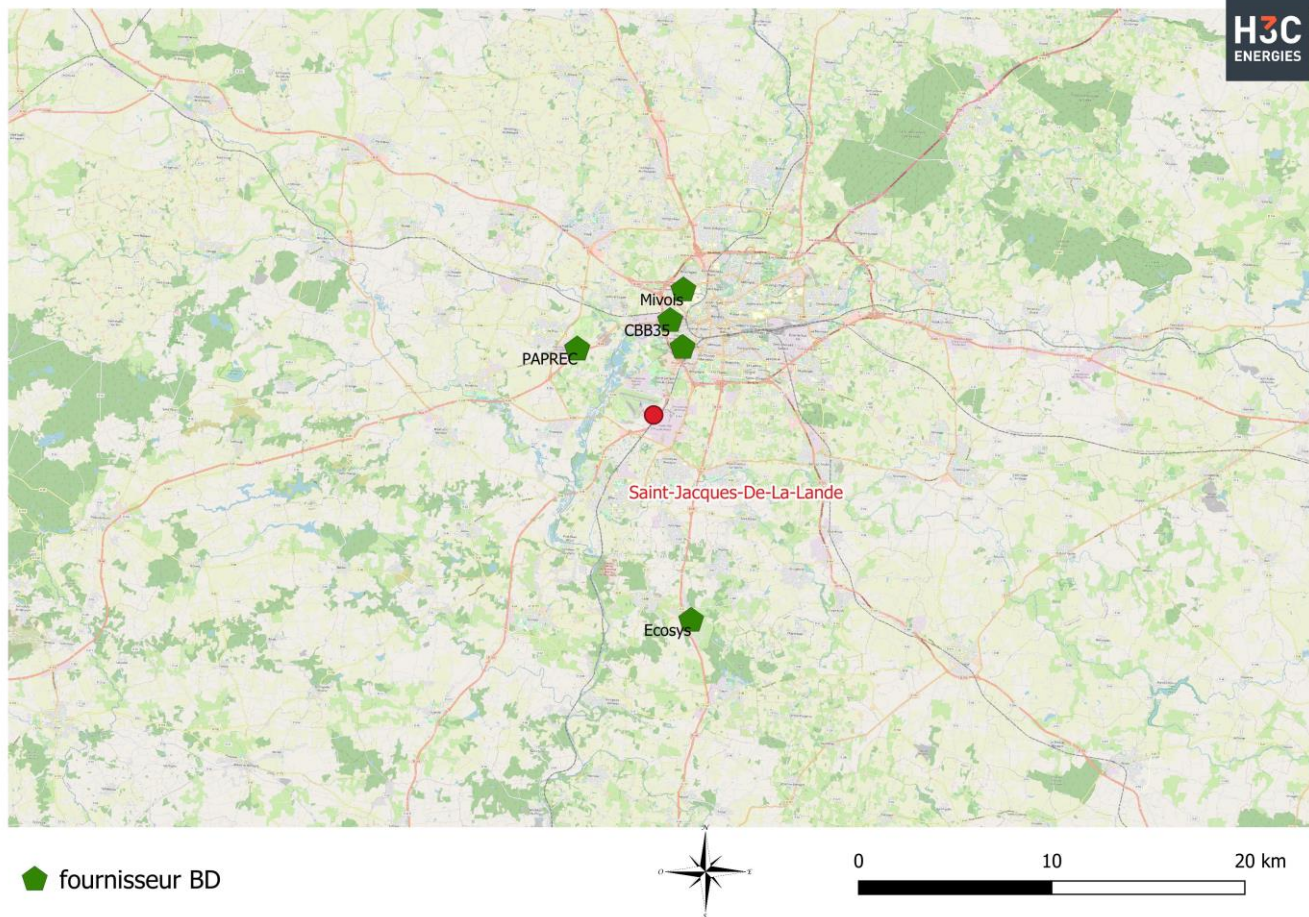


Figure 12: Carte des fournisseurs de bois déchiqueté à proximité du projet source : Plan Bois Bretagne

- Plusieurs prestataires seraient susceptibles d’approvisionner le projet en bois déchiqueté : (plateformes d’exploitants forestiers, plateformes locales agricoles, plateformes industrielles liées à des scieries,) (Source : Plan Bois Energie Bretagne).

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).

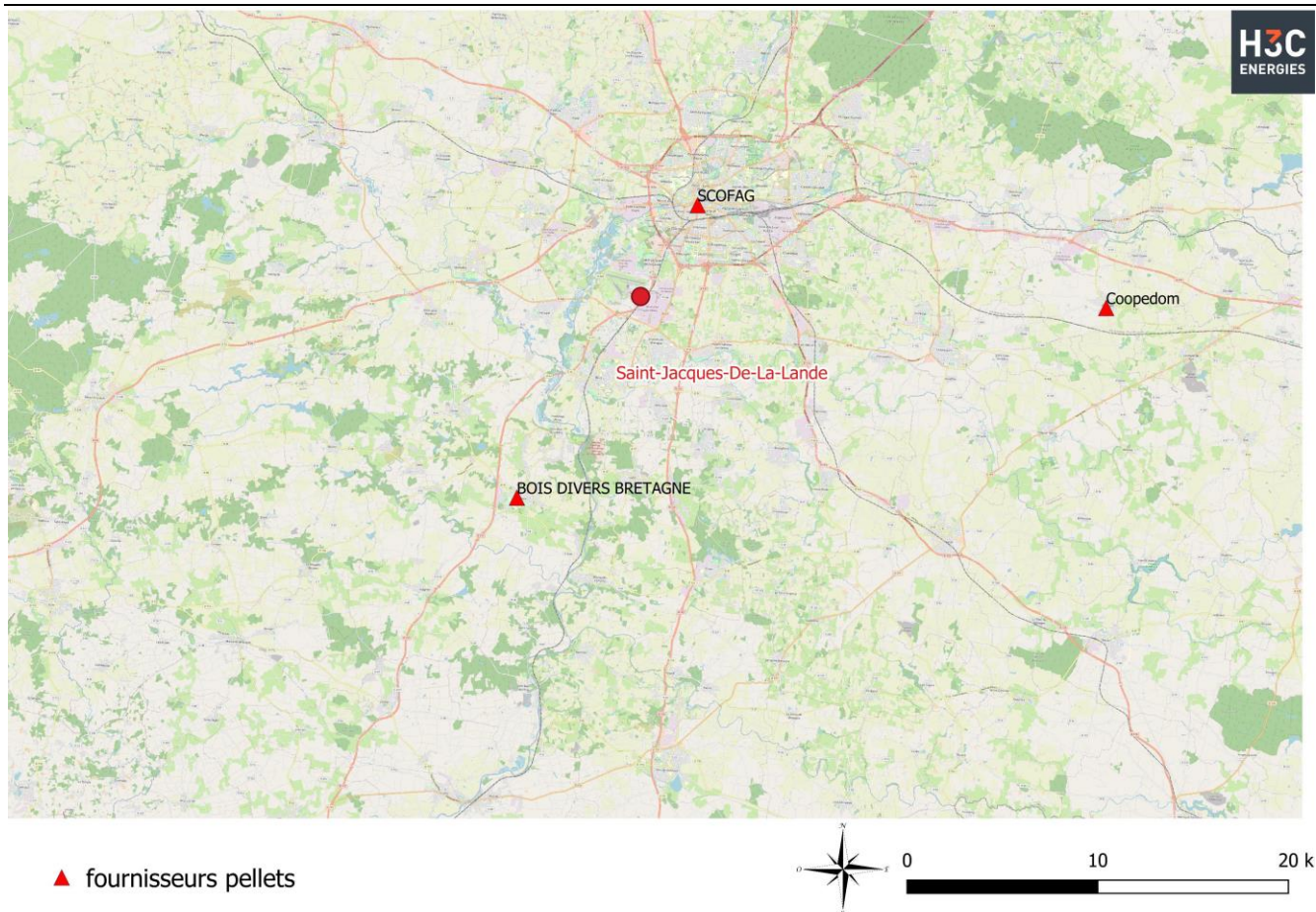


Figure 13: Carte des fournisseurs de granulés de bois en vrac à proximité du projet source : Plan Bois Bretagne

- ➔ Plusieurs fournisseurs de granulés en vrac par camion souffleur sont susceptibles d’approvisionner en bois granulés

6.2.3.3) Potentiel sur le projet

- ➔ Le bois est disponible sur le territoire sous différentes formes et pourrait assurer la production de chauffage.
- ➔ 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

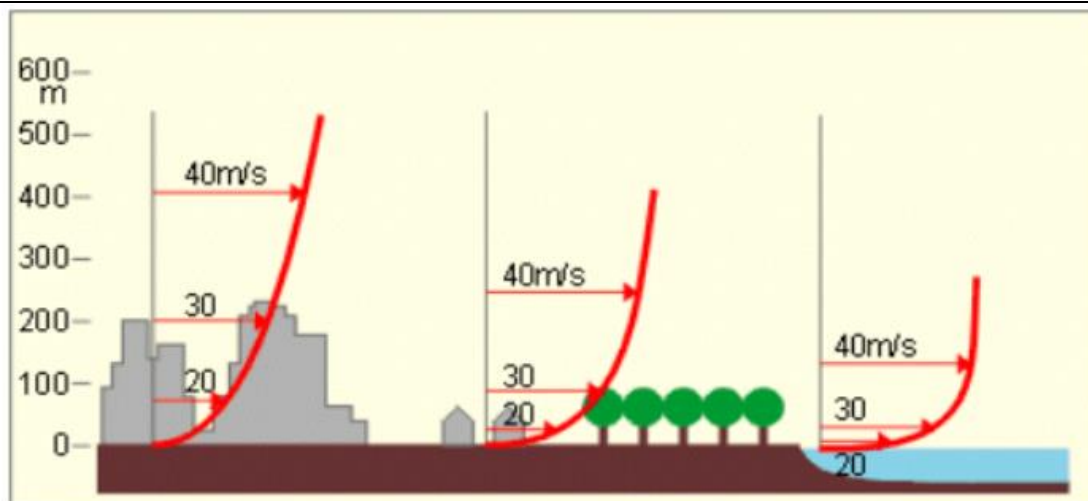
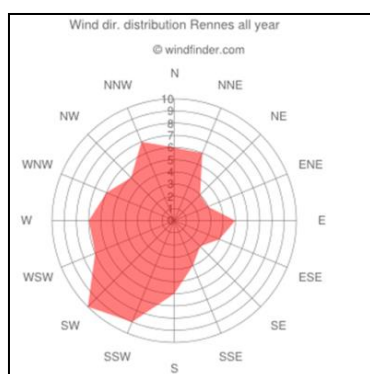


Figure 14: Evolution de la vitesse du vent en fonction de l'altitude et de la rugosité du terrain

6.2.4.2) Gisement

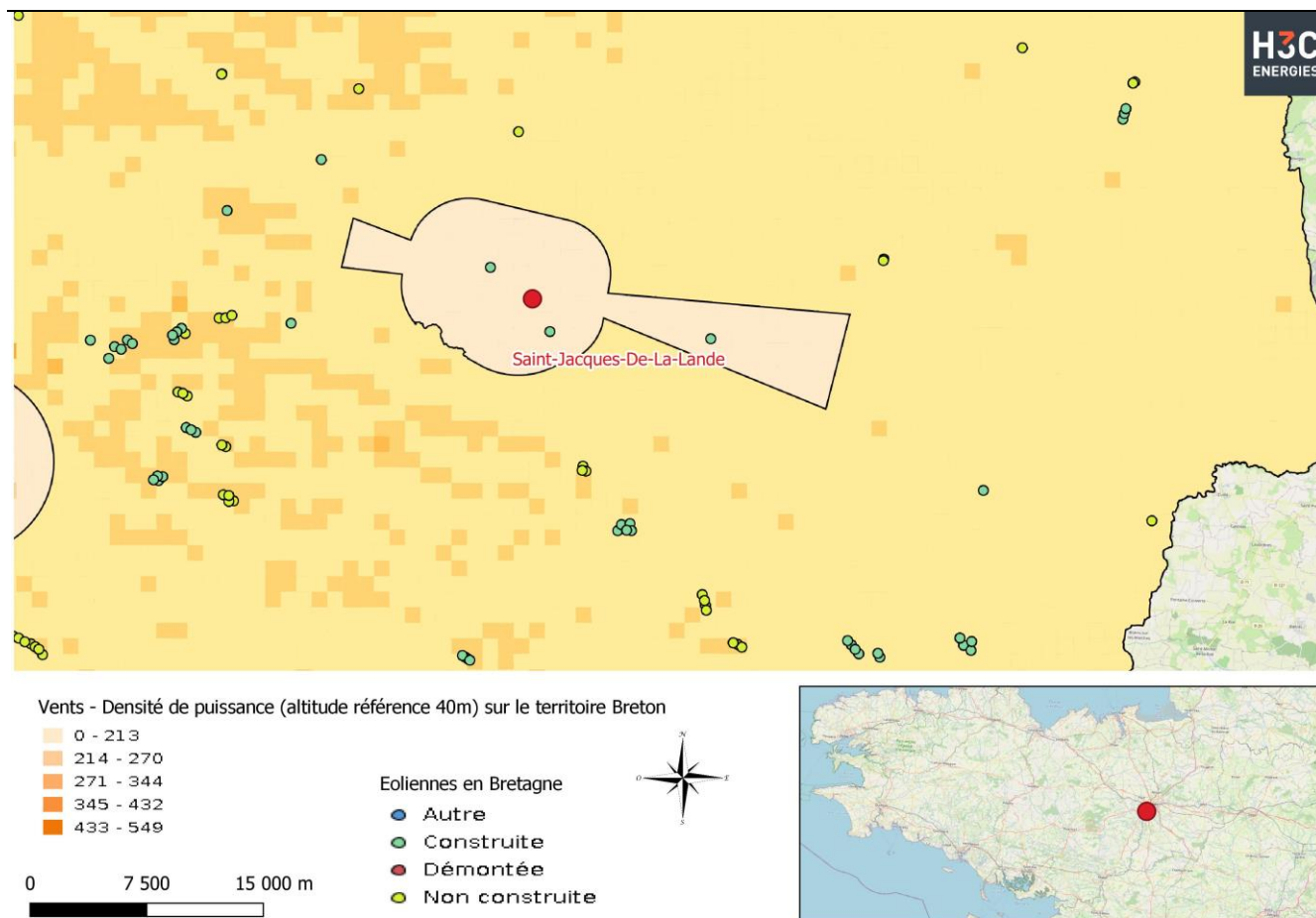
Les figures suivantes montrent la répartition annuelle des directions et les caractéristiques mensuelles du vent à Rennes (station météo la plus proche et représentative du site) :



Rennes (RENNES)												
Les statistiques basent sur les observations entre 7/2002 - 9/2012 tous les jours de 7h à 19h, heure locale												
Mois	Jan 01	Fév 02	Mar 03	Avr 04	Mai 05	Juin 06	Jui 07	Aoû 08	Sep 09	Oct 10	Nov 11	Dec 12
Direction du vent dominant	↗	↗	↗	↘	↘	↗	↗	↗	↗	↖	↗	↗
Probabilité du vent > = 4 Beaufort (%)	27	28	33	24	23	20	20	18	18	19	22	25
Vitesse du vent (Knots)	9	9	9	8	8	8	8	8	7	8	8	8
Température de l'air moyenne (°C)	7	7	10	13	16	20	20	20	18	14	11	7
Sélectionnez mois (Aide)	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec
TOT 1-12	23											

Figure 15: Rose des vents de Rennes (source : windfinder.com) Figure 16: Statistiques des vents à Rennes (Source: windfinder.com)

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



Éolienne en Bretagne et Schéma Régional Éolien (source : geobretagne.fr)

(a) Grand éolien

Le site est dans la zone d'exclusion radar de l'aéroport. L'implantation d'éoliennes est impossible.

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) mais la Bretagne n'est pas dans ce cas de figure.

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 l'Ouest de la France :

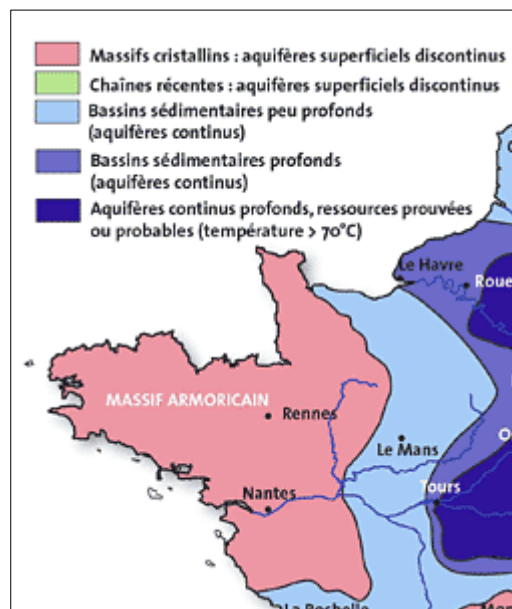


Figure 17: Extrait carte des ressources géothermiques en France (source BRGM)

Le site, comme l'ensemble du territoire breton, se situe sur un **massif cristallin** contenant des aquifères superficiels discontinus. Ainsi, des nappes d'eau peu 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 Bretagne, 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 Bretagne 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 Géothermiques d'une profondeur d'environ 100m sont recensés à proximité du secteur ce qui laisse deviner un potentiel.

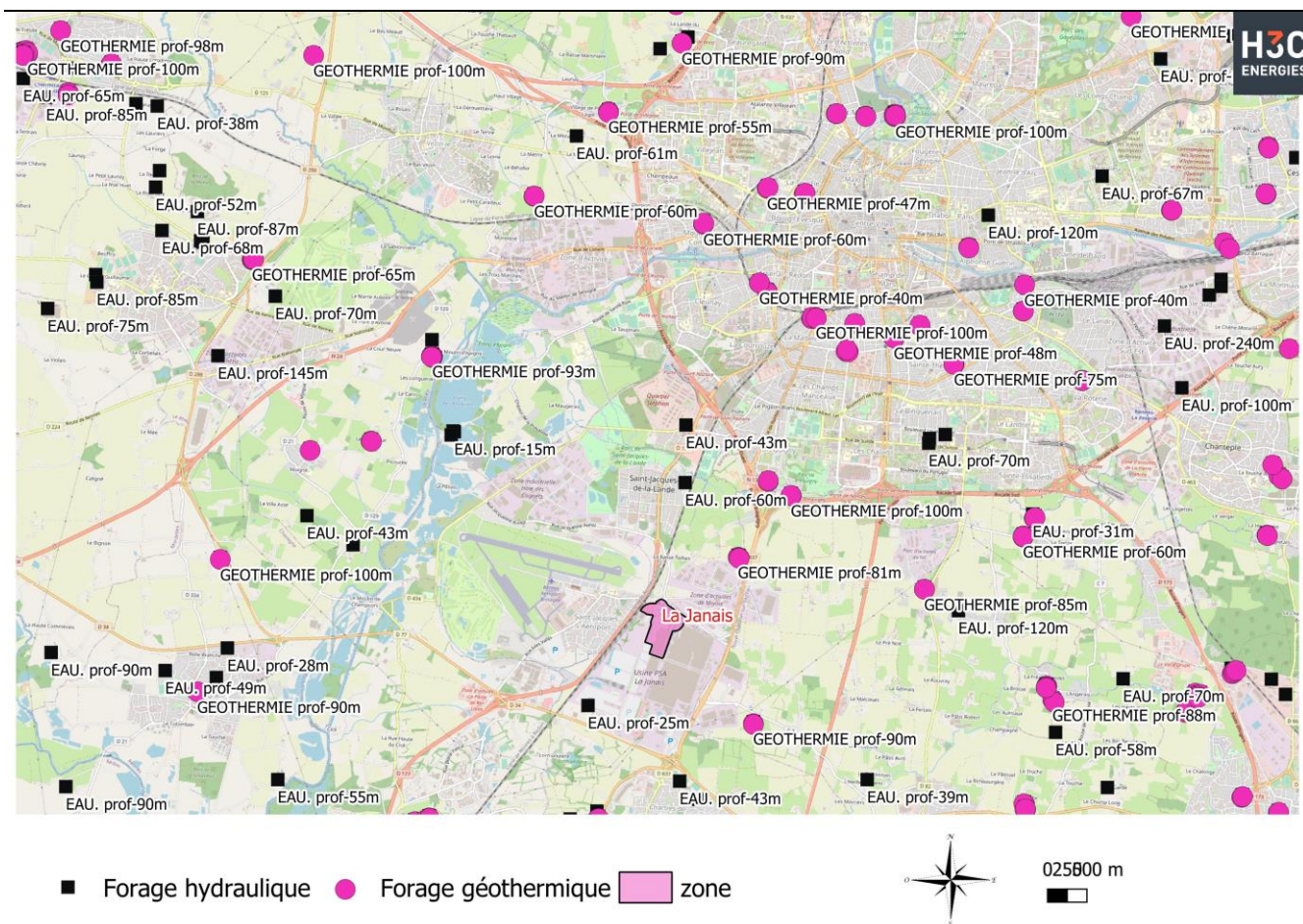


Figure 18: Cartographie des forages Source : BRGM)

6.2.5.3) Potentiel de production dans le projet

Des forages géothermique et puisages d'eau sont référencés à proximité du projet.

Il existe probablement un potentiel géothermique sur sondes verticales exploitable sur le site mais la réalisation d'un **forage test** ainsi qu'une **étude de faisabilité** sont indispensables.

➔ En l'absence de données plus précises il est délicat de conclure sur le potentiel géothermique des sites.

6.2.5.4) Préconisations

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

- Les bâtiments 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	Inconvénient	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)	Coût d'un réseau distinct pour les eaux grises. Surcoût d'un calorifugeage.	Potentiel de puissance entre 50 kW et 300 kW
Collecteurs	Proximité des preneurs de chaleur Utilise des technologies maîtrisées (échangeurs de chaleur, 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 maître d'ouvrage du réseau, exploitant du réseau et maître 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 19: Avantages et inconvénients des différents systèmes de récupération d'énergie sur les eaux usées

6.2.6.2) Exemple de réalisation :

Projet	DATE	Niveau	Puissance	Production MWh	Investissement	Bâtiment chauffé
Batagieres Nord-EST (Mulhouse)	2008	Collecteur	520kW	655	600 000 €	75% des besoins de chaleur de 108 logements
Habitat social (Marseille)	2012	Collecteur	530 kW	1689	1 281 000 €	215 logements
STEP Belleville	2011	STEP	300 kW	274 (entrée PAC)	480 000 €	3 bâtiments de logements
Centre aquatique communauté urbaine d'Aras	2018	Collecteur	?	1000	600 000 €	Piscine

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.

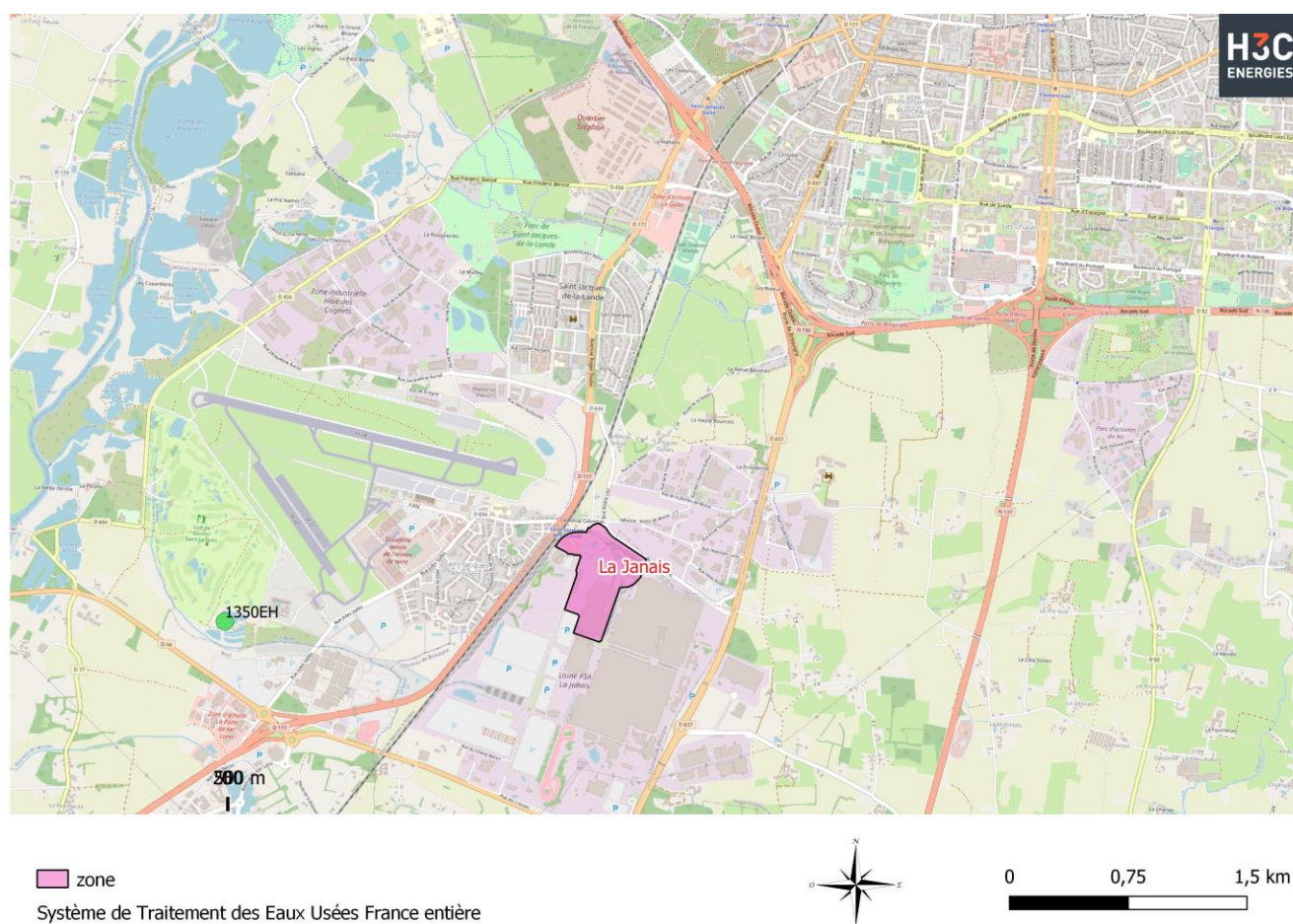


Figure 20: Localisation de la station d'épuration de

Une STEP est située à proximité du projet mais sa capacité 1350 EH est trop faible pour envisager une telle installation.

> 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, 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.



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.

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 :

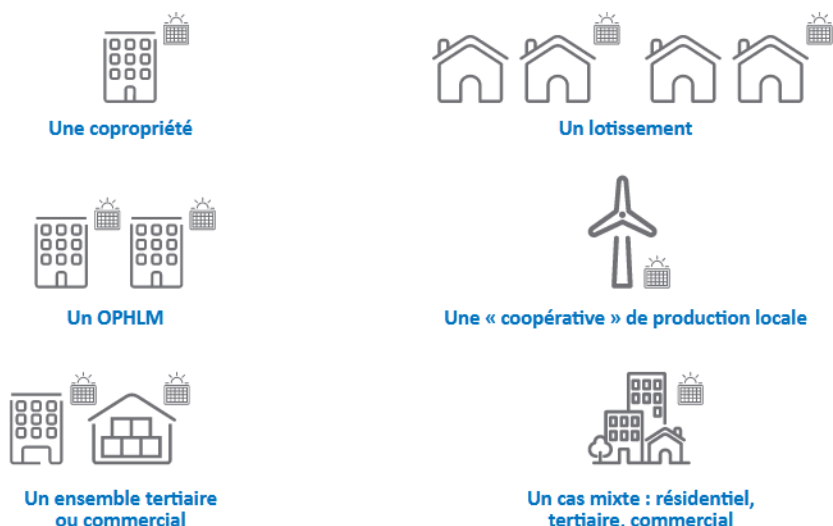


Figure 21: formes d'autoconsommation collective (Source: Enedis)

Ainsi au sein d'une opération, 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.

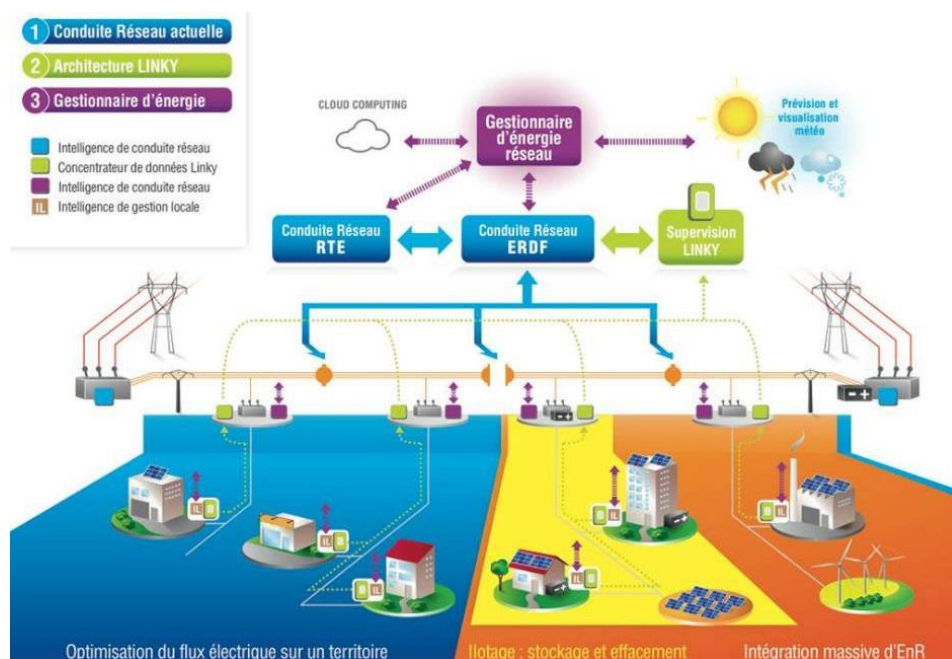


Figure 22: Illustration Smart Grid (Source : www.enerzine.com)

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 cours de structuration	Disponibilité de la ressource Filière créatrice d'emplois locaux Chaudière collective possible en habitat collectif 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. > Technologie adaptée aux différents profils de consommations.
Solaire passif	++	Orientation Sud des bâtiments Attention à la pente du terrain Conception bioclimatique (maximiser les apports solaires en hiver, s'en protéger en été)	Energie gratuite	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 brises-soleil (étude approfondie à réaliser). Orientation sud des toitures ou toits terrasses. Réaliser un modèle 3D pour évaluer précisément l'ensoleillement et notamment les ombres portées des bâtiments.	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 bâtiments ayant des consommations de chaleur pour l'ECS ou certains process industriels (production de vapeur ou eau chaude).
Solaire photovoltaïque	+++	Panneaux photovoltaïques : prévoir une étude de faisabilité pour déterminer la faisabilité technico-économique et les	Photovoltaïque : peut favoriser une intégration au bâti et au milieu urbain (verrières, façade, mobilier urbain, ...)	Le coût peut être élevé pour le photovoltaïque.	Solution adaptée : > Peut couvrir une partie des consommations. > compatible avec un smartgrid.

Energie	Potentiel sur site	Conditions de mobilisation	Atout/avantages	Contraintes/inconvénients	Avis H3C et pertinence sur le projet
		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 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.	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 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.
Chaleur fatale des eaux usées en pieds de bâtiments	+++	-Bâtiment de taille significative + évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes -Valorisation possible -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 pertinente à l'échelle d'un bâtiment industriel ayant des processus rejetant de l'eau.
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.
Chaleur fatale eaux usées (collecteurs et station de relevage)	?	Études préalables pour quantifier le gisement	Energie de récupération Ressource disponible toute l'année	-Investissement important -Risque juridique -Peu de retour d'expérience -Maintenance significative	

Energie	Potentiel sur site	Conditions de mobilisation	Atout/avantages	Contraintes/inconvénients	Avis H3C et pertinence sur le projet
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 artificialisé.



Réalisable sous conditions



Envisageable

7. Phase 2 : Détermination des consommations d'énergie du projet

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 le secteur de manière exhaustive, afin de comparer l'impact environnemental de ces solutions.

Il s'agit donc :

- D'évaluer la totalité des consommations énergétiques 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.
- Électricité 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 des ménages. Jusqu'à 40% des consommations pour un bâtiment très performant.

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

- lave-linge
- sèche-linge
- lave-vaisselle
- froid
- éclairage
- audio-visuel
- informatique/télécom
- circulateurs et communs
- ventilation
- nettoyage et bricolage
- cuisson.
- Parties communes

7.3. Hypothèses de calcul

Nous considérons une programmation de 35 000m² SDP de bâtiments non précise à ce stade (enseignements, bureaux, commerces, industrie)

Nous considérons les besoins énergétiques unitaires suivants d'après les objectifs en valeur absolue pour 2030 issus du décret tertiaire.

Besoins thermiques :

- 50 kWh_{th}/m².an

Besoins électriques :

- 50.5 kWh_{el}/m².an

7.4. Calcul des besoins énergétiques en fin d'opération

À 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:

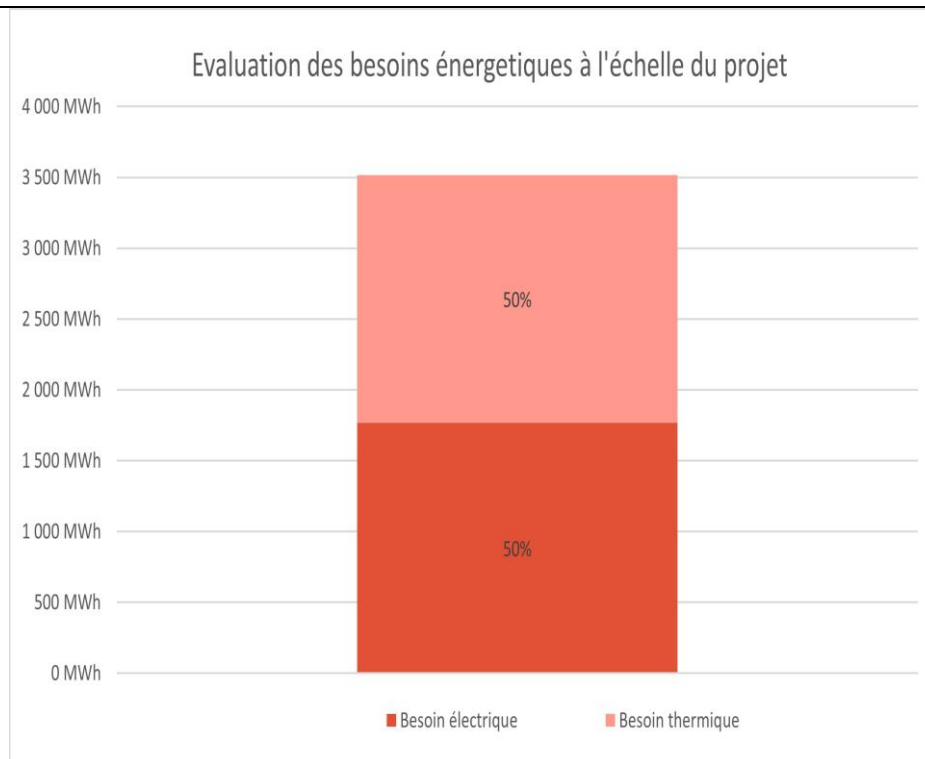


Figure 23 : Évaluation des besoins énergétiques à l'échelle du projet par scénario de performance énergétique

Ainsi, la consommation énergétique attendue sur le projet serait de 3 518MWh dont 50% correspondent à des usages électriques.

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 projet

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

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

On considère (sous réserve de toiture plate ou mono-pente) que 80% de la surface de toiture peut être exploitée pour installer des panneaux photovoltaïques.

Pour les bâtiments concernés, on retient en première hypothèse une surface de toiture équivalente à la 35% de la SDP.

La surface exploitable en toiture est ainsi estimée à 10 780 m² pour l'ensemble de l'opération.

La possibilité de pose en brises soleil 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 :

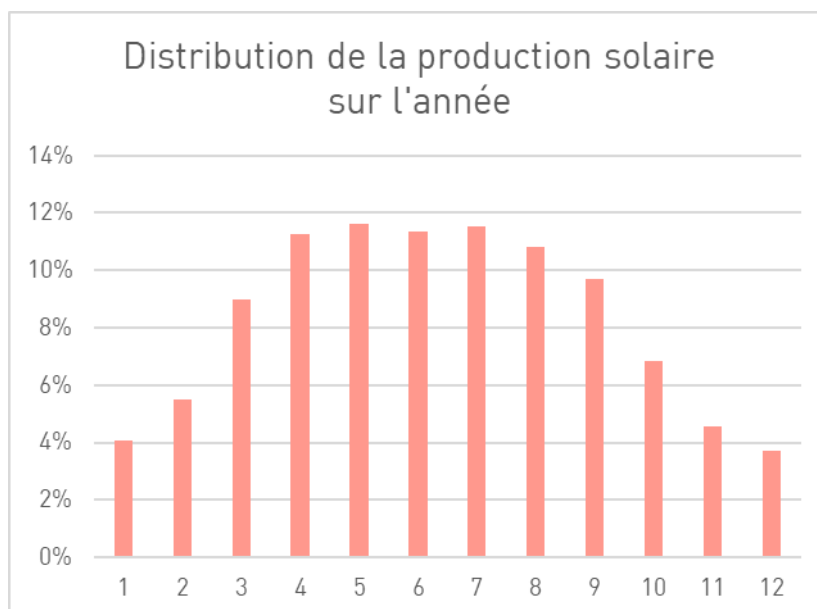
Productibilité annuelle	Electricité (KWh/kWc)	Chaleur (KWh/m ²)
Capteurs en toiture	950	350

La production photovoltaïque (maximale théorique en toiture) est estimée à 1 434 MWh/an

Point de vigilance :

Le stockage inter saisonnier de l'énergie thermique 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 annuelle suit la répartition suivante. :



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%.

Etant donné que les besoins en ECS (ou chaleur pour process) de la zone sont incertains, nous écarterons l'évaluation de ce potentiel.

8.2. Production de chaleur par géothermie

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

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 selon nos hypothèses.

Attention, concernant les fortes incertitudes quant à la programmation, des activités hébergées et des surfaces bâties, les résultats ci dessous représentent un ordre d'idée. Les résultats en exploitation pourraient être significativement différents.

ENR		Taux de couverture moyen par les EnR			
Technologie	Caractéristiques	Productible MWh/an	Chaleur	Electricité	Total Energie
Panneaux Solaire thermique	Inclinaison 30° Orientation: S-E	0	0%	0%	0%
Panneau Solaire photovoltaïque	Inclinaison 30° Orientation: S-E	1434	0%	81%	41%
Chaudière bois granulés		1750	100%	0%	50%
Chaudière bois plaquette		1750	100%	0%	50%
PAC géothermique	COP 3,5	1243	71%	0%	36%
PAC eau	COP 2.7	1103	63%	0%	31%

- 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 en fonction du découpage parcellaire et de l'implantation des bâtiments. Toutefois, des surfaces supplémentaires pourraient être exploitées en ombrière de parking et en façade de bâtiment.
- Selon les hypothèses retenues, la production photovoltaïque pourrait couvrir une part significative des besoins annuels énergétiques du projet. Toutefois : Ce résultat est soumis aux hypothèses de consommation par défauts. Si des sites avec du processus industriel étaient présents (besoins énergétiques nettement supérieurs) les résultats seraient significativement différents.
- Selon nos hypothèses, la production PV pourrait couvrir une part significative des besoins électriques de la zone. Le développement de cette énergie est à encourager. Toutefois le bon bilan annuel de la production photovoltaïque ne signifie pas que la zone s'approcherait de l'autonomie énergétique. En effet il s'agit d'un bilan production/consommation annuel (voir prospective → production locale d'électricité).

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

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

Nous avons donc étudié 4 scénarios pragmatiques qui s'appuient sur des solutions techniques éprouvées.

Le tableau suivant décrit les scénarios étudiés :

	Chauffage	Production d'ECS
S0 : Gaz	Gaz	Gaz
S1 : Biomasse	Bois granulés	Bois granulés
S2 : Aérothermie	Pompe à chaleur air/eau	Pompe à chaleur air/eau
S3 : Géothermie	Géothermie	Géothermie

L'étude de ces scénarios à l'échelle du projet 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 projet 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 projet :

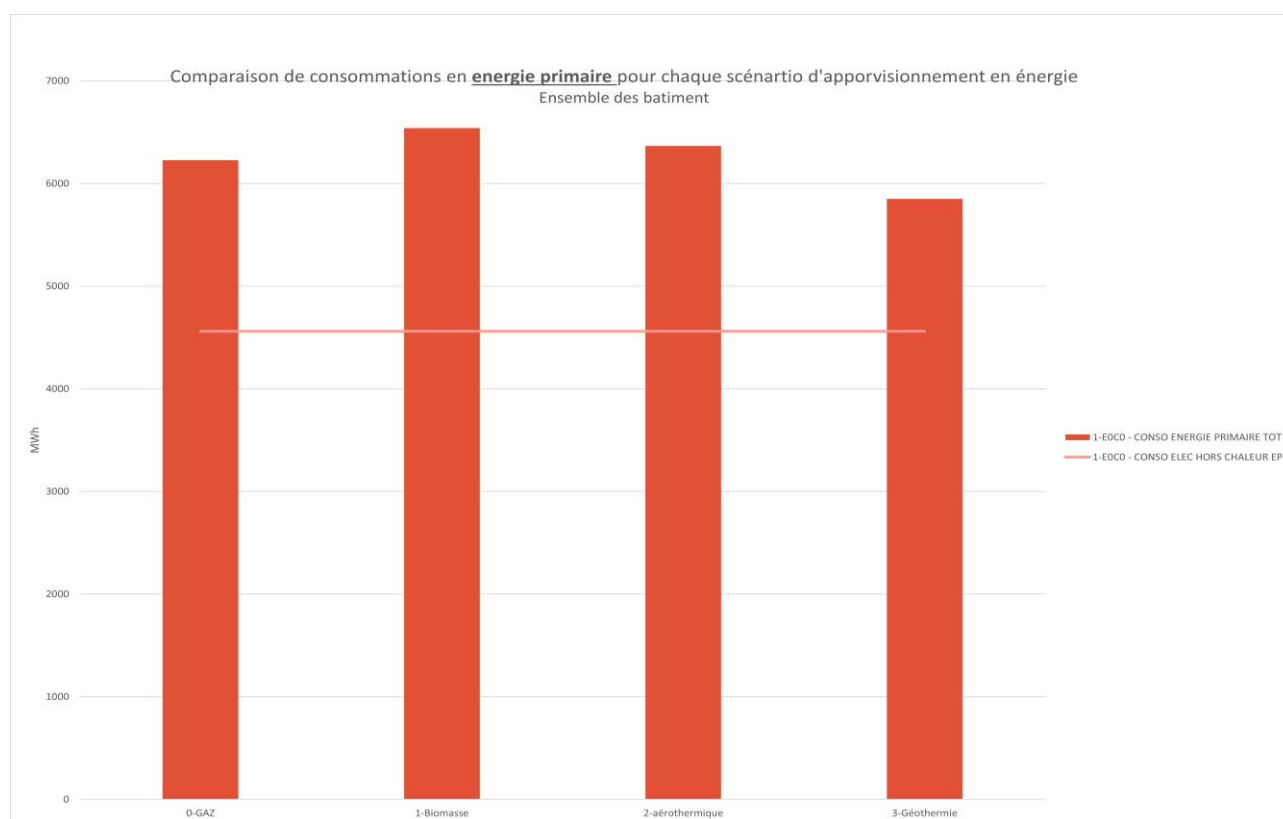


Figure 24 : Comparaison de la consommation d'énergie finale du projet par scénario d'approvisionnement énergétique

Cette consommation d'énergie est modulée par rapport aux besoins 3 518MWh/an .En effet, ces scénarios d'approvisionnement en énergie intègrent de l'énergie gratuite (solaire, énergie du sol), des notions de rendement ou d'appoint.

Les scénario S2-PAC aérothermique et S3-Pac géothermique 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 chaleur

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 bilan énergétiques annuels peuvent varier jusqu' à moins 39% 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'approvisionnement énergétique : **les coûts de fonctionnement, l'impact environnemental et la cohérence avec la politique énergétique bretonne.**

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 énergie, 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 cout global.

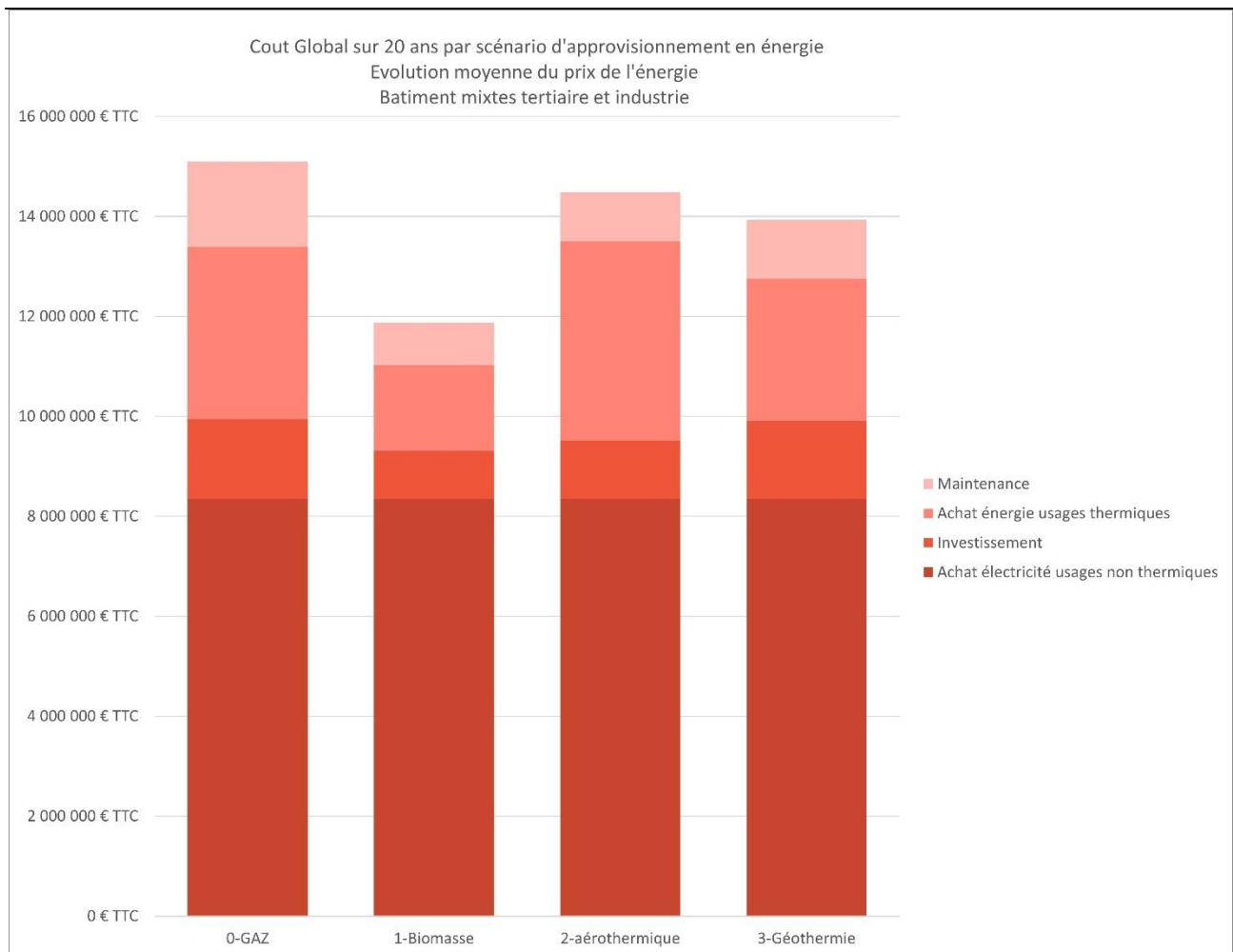
Avertissement : l'objet de ce paragraphe n'est pas de permettre d'obtenir une indication précise du coût réel mais de faciliter l'appréhension d'un ordre de grandeur de l'écart de coût entre chaque scénario d'approvisionnement en amont d'un projet. Le coût réel dépend de nombreux paramètres propres à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

- Hypothèse de taux d'inflation :

Energie	Taux inflation (%)
Bois granulés	4
Bois plaquettes	4
Electricité	6
Fuel	6
Gaz	6
Propane	8

- **Batiment zone artisanale et commerciale**

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.



- L'électricité représente la part la plus importante des coûts de fonctionnement.
- Le développement de panneaux photovoltaïques en autoconsommation/autoconsommation collective permettrait de maîtriser le bilan économique de la consommation d'électricité.
- Le scénario biomasse présente le meilleur bilan économique.
- Le scénario géothermie présente ensuite le meilleur bilan économique
- Les scénarios utilisant des pompes à chaleurs sont pénalisés par les coûts d'investissements du matériel.

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 bâtiments du projet :

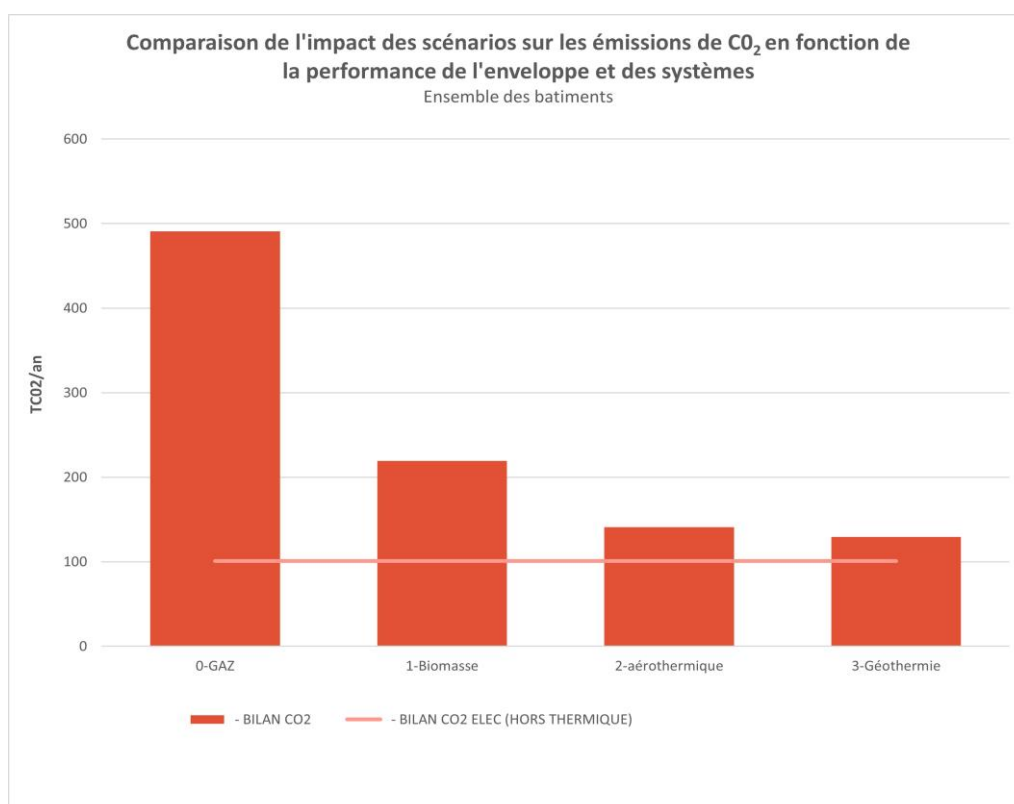


Figure 25: Emissions de CO₂ du projet

Le scénario de référence au gaz émettrait 490,9t de CO₂/an selon nos hypothèses.

Les scénarios S1, S2 et S3 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 74% 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 3 et 4. Certains fluides frigorigènes ont un pouvoir de réchauffement climatique plus de 4 000 fois supérieure à celui du CO₂ !

9.4. Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne

Le dernier élément de comparaison concerne la compatibilité de systèmes étudiés avec la situation de péninsule électrique de la Bretagne.

Le contexte a été décrit dans la première partie de ce rapport.

Le pacte électrique breton fait une recommandation sur l'utilisation de l'électricité :

Extrait du Pacte électrique Breton :

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).

Il convient donc d'éviter de promouvoir le recours à des systèmes énergétiques mobilisant fortement l'électricité pour les besoins en chauffage et en production d'ECS pour éviter les phénomènes de pointe en hiver.

Cette exigence de cohérence avec le Pacte électrique breton invite à écarter les solutions utilisant les pompes à chaleur, sauf si elles sont installées avec des précautions spécifiques : en relève de chaudière pour couvrir les besoins en mi-saison par exemple.

9.5. 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 Scénario S1 (biomasse) et S3 Géothermie présentent une réponse aux critères d'analyse plus adaptée, mais aucun scénario ne se détache particulièrement par rapport aux autres.

	Faible consommation en Energie Primaire	Faible consommation en Energie finale	Impact sur l'effet de serre	Coût Global sur 20 ans	Taux d'utilisation d'ENR	Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne
0-GAZ						
2-aérothermique						
3-Géothermie						
1-Biomasse						

Figure 26 : Évaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critères environnementaux et économiques

LEGENDE	Scénario	Réponse Favorable	Réponse mitigée ou adaptée partiellement au critère	Réponse Défavorable ou inadaptée
---------	----------	-------------------	---	----------------------------------

10. Phase 6 : 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 inexistant, 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/RE2020).

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.

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 du projet

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 Bretagne.

10.2. Notion de densité énergétique pour un réseau de chaleur

Cette étude d'opportunité repose sur l'analyse de la **densité énergétique** des scénarios.

Elle correspond à la quantité d'énergie consommée par les bâtiments par unité de longueur du réseau (longueur de tranchée).

Le critère généralement admis pour évaluer en première approche l'intérêt d'un réseau de chaleur bois est le coefficient qui représente la quantité d'énergie transportée par un mètre de réseau sur une année, exprimé en kWh/m de réseau de chaleur. En milieu rural, on considère généralement qu'un **réseau de chaleur peut avoir de l'intérêt à partir de 1 500 kWh/m de réseau et par an**. Par comparaison, la densité minimum des réseaux urbains se situe autour de 8 000 kWh/m et par an.

L'implantation d'un réseau est principalement liée à cette densité énergétique : les zones proches de « gros consommateurs » seront susceptibles d'être plus adaptées à un réseau de chaleur et donc à une chaufferie centralisée que les zones peu consommatrices et diffuses. **L'implantation d'une éventuelle chaufferie n'étant pas définie, nous étudions ce réseau non pas à partir de la chaufferie, mais à partir de chaque bâtiment.**

10.2.1. Hypothèses de consommations énergétiques considérées

Les hypothèses de consommations énergétiques sont issues de l'étude d'approvisionnement en énergie réalisée au paragraphe VII.2 p.

10.3. Etude d'opportunité

10.3.1. Analyse qualitative

La figure suivante représente la valeur seuil des 1 500 kWh/ml/an pour un exemple d'implantation de bâtiments. **Les bâtiments potentiellement « raccordables » au réseau sont ceux dont les cercles se chevauchent.**

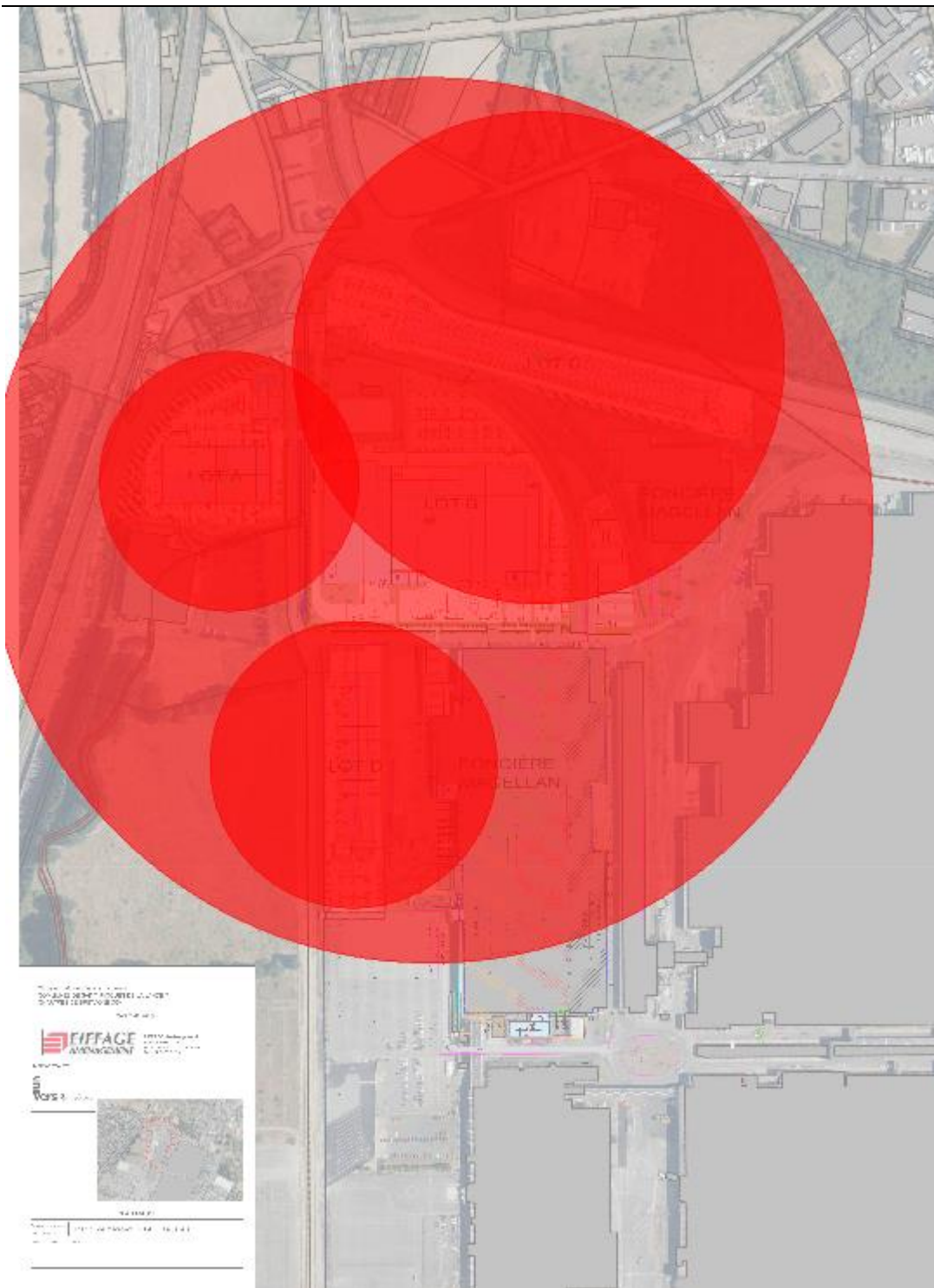


Figure 27: Analyse qualitative de la densité énergétique (source : H3C Energies)

- L'analyse de la densité énergétique est favorable au développement d'un réseau de chaleur

10.3.2. Conclusion :

A ce stade du projet, l'analyse de la densité énergétique est favorable à la création d'un réseau de chaleur. L'analyse sera toutefois à confirmer par une étude de faisabilité en phase ultérieure.

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. Production locale d'électricité

La consommation prévisionnelle d'électricité a été calculée dans la partie « Estimations des consommations d'énergie des bâtiments en fin d'opération ». **Nous avons vu que l'énergie relative à l'électricité représente une part importante des consommations prévisionnelles en énergie finale.**

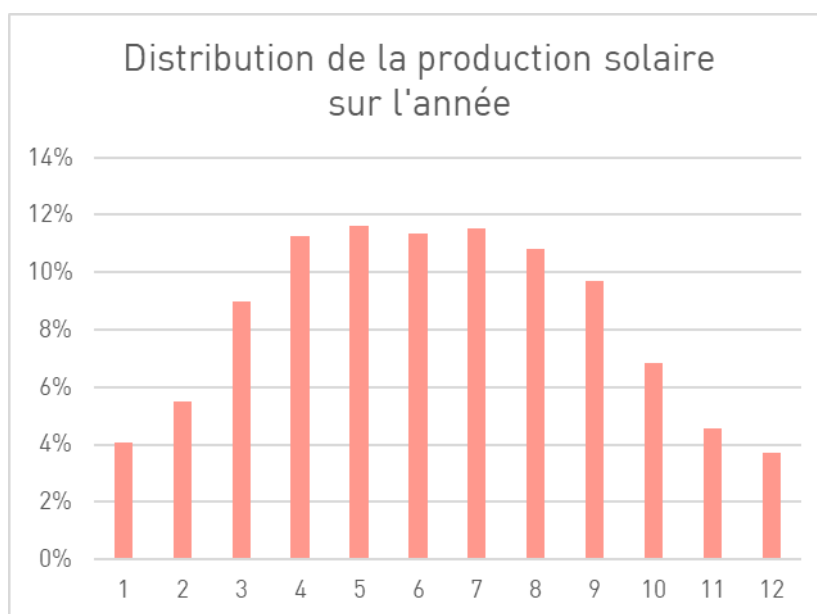
De fait, envisager une production locale d'électricité est cohérent avec l'objectif de compenser les impacts environnementaux de l'opération.

La production locale d'électricité est envisageable en ayant recours à l'installation de capteurs solaires photovoltaïques.

Les besoins en électricité (hors chaleurs) sont estimés à 1 768MWh/an.

La surface de panneaux à installer pour que la production annuelle compense la consommation annuelle d'électricité (hors chaleur) est de 13 289 m² pour une réduction de 21% des émissions de CO₂ des bâtiments.

On rappelle que la production solaire varie en fonction de la date selon la répartition typique suivante :



Périmètre du bilan		Unité	% de la surface de toiture estimée	T CO2 EVITEE	% EGES BATIMENT et matériaux de
Consommation électricité (hors chaleur annuelle)	1 768	MWh			
Surface panneaux PV pour Bilan électrique annuel >0	13 289	m²	123%	101	21%
Surface panneaux PV pour Bilan électrique Décembre>0	46 534	m²	432%	353	72%

Pour que la production locale d'électricité en décembre excède la consommation en décembre et ainsi soulager le réseau électrique en hivers, il faudrait installer de l'ordre de 46534 m² de panneaux photovoltaïques (réduction de 72% des émissions de CO₂ des bâtiments). Soit près de 2 fois la surface de toiture estimée. Il faudrait alors installer des panneaux photovoltaïques en ombrières de parking, en façade et en brise-soleil.



Figure 28: Ombrière photovoltaïque

11.4.2. Stockage de carbone : plantation de biomasse

11.4.2.1) 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.

11.4.2.2) 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**.

11.4.2.3) 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 bâtiments de l'opération ainsi que les émissions de CO₂ liées aux matériaux de construction sur l'ensemble de leur cycle de vie.

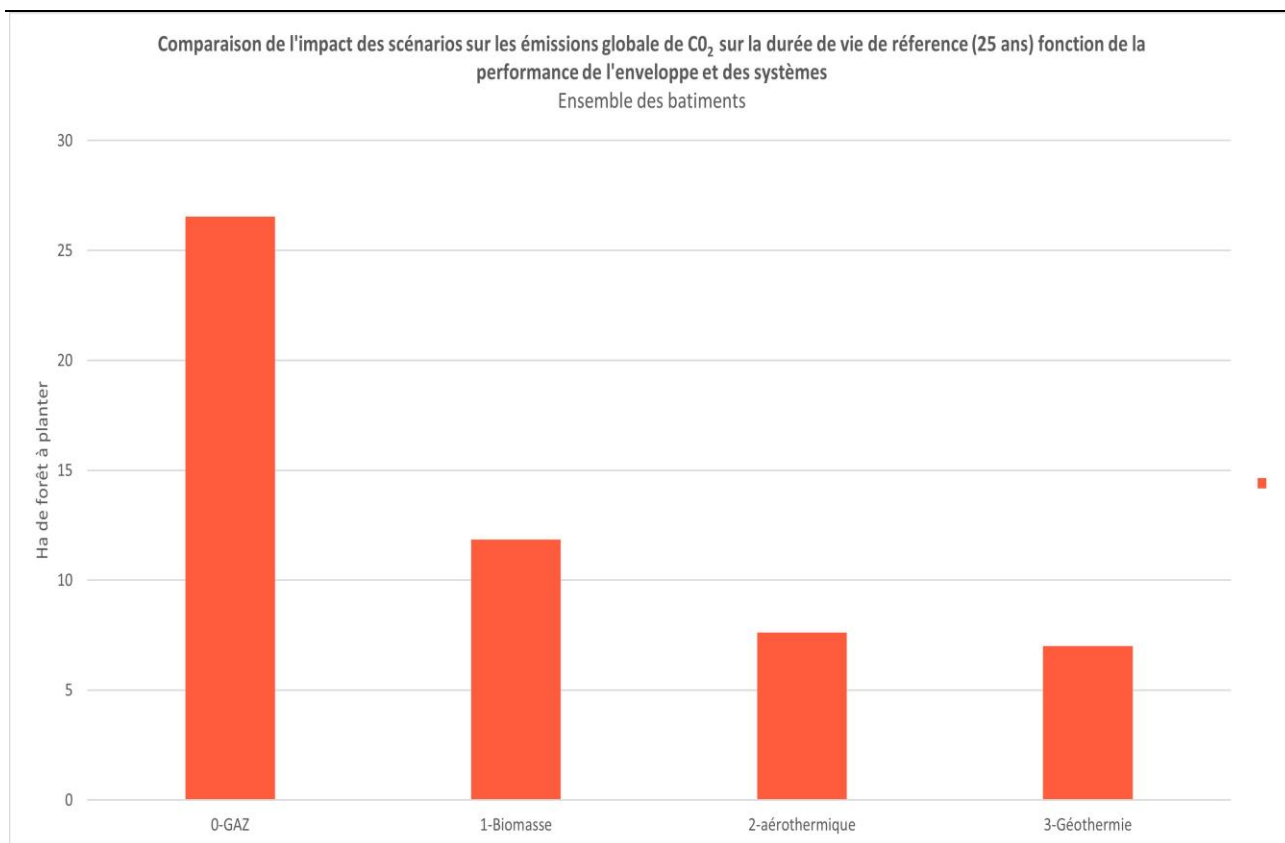


Figure 29 : Calcul de la surface boisée nécessaire en mesure compensatoire

Le scénario de référence nécessiterait donc, selon nos hypothèses, de 7 à 27 ha de forêt en mesure compensatoire

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 usagers
- 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.

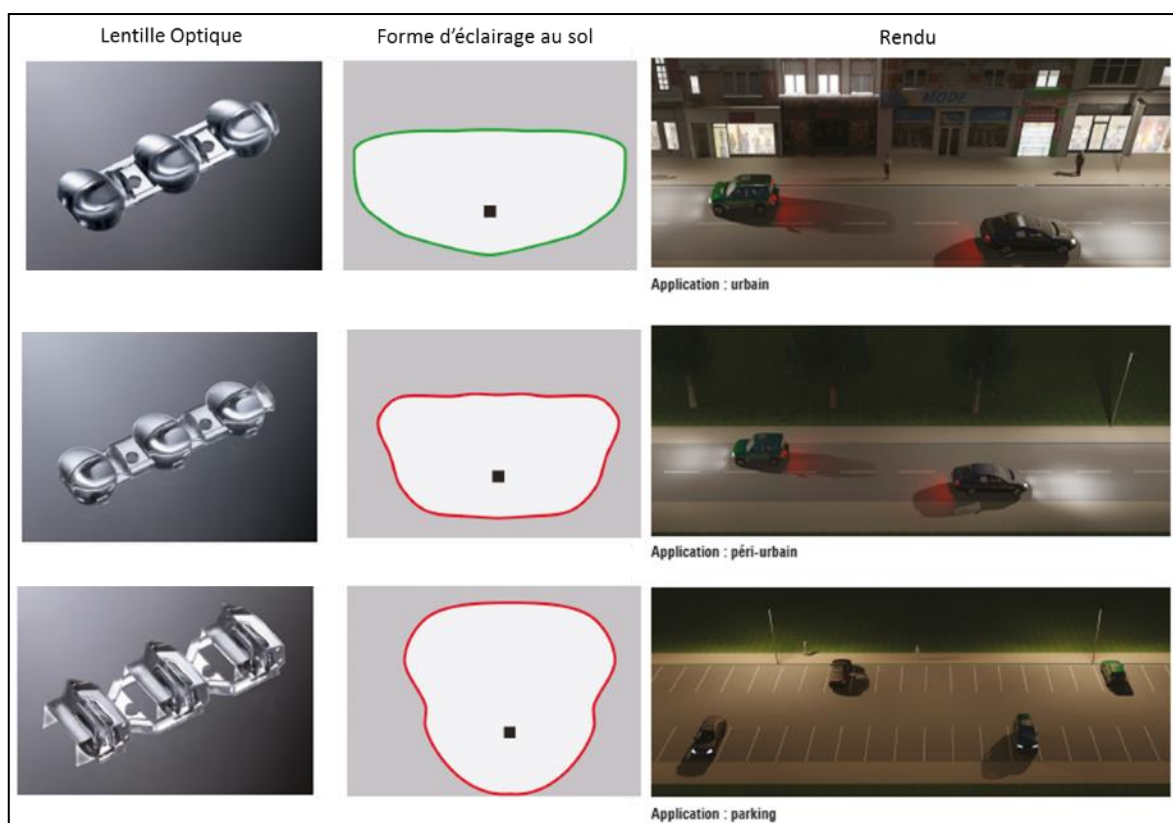


Figure 30: Exemple d'optiques (Source We-ef)

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).

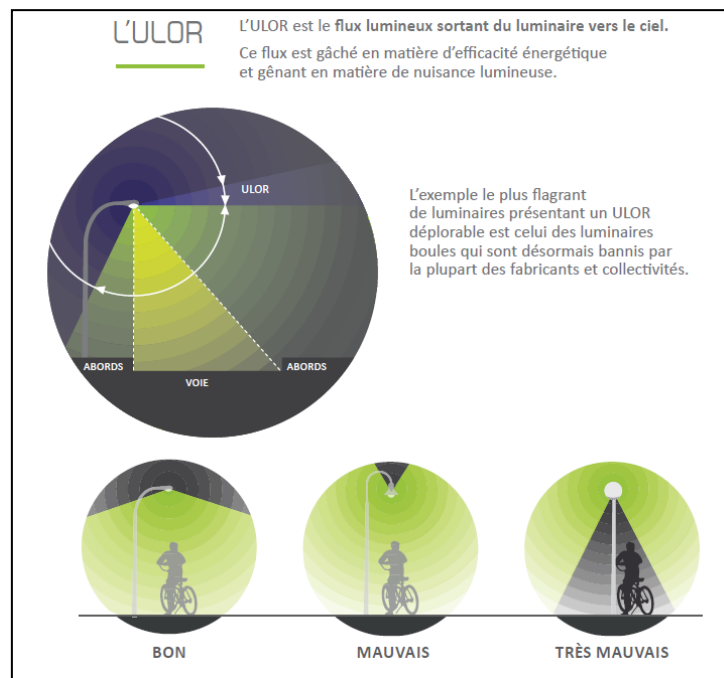


Figure 31: Illustration de l'ULOR (Source: Charte EP SDE35)

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. Électricité renouvelable

Couvrir avec de l'écocourant 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

13. 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 !).	Investissement important. Attention à ne pas négliger la performance énergétique des	Réduction de l'impact environnemental de l'ensemble de l'opération par la production d'électricité verte.

	Rentabilisation par le rachat de l'énergie.	bâtiments au profit de l'investissement en photovoltaïque.	
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

14. Propositions d'actions spécifiques liées à l'énergie

Ce paragraphe propose des actions spécifiques liées à l'énergie.

Elles pourront par exemple être intégrées aux critères de sélection de l'aménageur ou des promoteurs, au cahier des prescriptions architecturales, urbaines, paysagères et environnementales.

Au stade création, le niveau de précision du projet ne permet pas encore de se positionner concrètement sur tous les points. De plus, le projet s'étalera sur un certain nombre d'années et devra de ce fait s'adapter aux évolutions du contexte, notamment réglementaire par rapport à l'énergie.

Objectif	Mesure proposée	Volontarisme	Modalité de suivi
BATIMENTS			
1-Réaliser des Bâtiments économes en énergie	Information et sensibilisation des acteurs du projet pour aboutir à un plan d'aménagement en cohérence avec les objectifs énergétiques	+	Vérification du plan d'aménagement Accompagnement de la collectivité par un bureau d'étude spécialisé en énergie
	Plan de composition favorable aux apports solaires : permettant que les ouvertures principales soient orientées au Sud (+/- 20°) et limitant les ombres portées	+	Accompagnement de la collectivité par un bureau d'étude spécialisé en énergie Vérification du plan d'aménagement (nombre de lots orientés Nord-Sud) et cahier des prescriptions
	Définir un niveau de performance énergétique, par exemple : <ul style="list-style-type: none"> Niveau de consommation issu du décret tertiaire -x% 	- + ++ ++ +++	Accompagnement de la collectivité par un bureau d'étude spécialisé en énergie
2-Encourager l'usage des énergies renouvelables	Recours à une énergie renouvelable obligatoire pour la production du chauffage ou de l'eau chaude sanitaire: -pour les maisons individuelles ou accolées (Cf RT 2012) -pour les logements collectifs : étude d'approvisionnement en énergie qui devra au minimum étudier la production d'eau chaude solaire centralisée et la production centralisée du chauffage au bois énergie ou -Logements collectifs: imposer une ENR, solaire ou bois.	- - + ++	Vérification à l'instruction du PC Etude de faisabilité
	-Développer l'autoconsommation électricité renouvelable -Mettre en place un smart-grid ou réseau intelligent	++ ++++	Cahier des prescriptions Suivi énergétique (consommation et production)
3-Minimiser les appels de puissance sur le réseau électrique en hiver pour le chauffage	<ul style="list-style-type: none"> Informez sur le Pacte électrique breton Pompes à chaleur autorisées uniquement en relève de chaudière. Interdire les PAC air/air et air/eau Chauffage électrique comme solution de chauffage interdit sauf si la consommation conventionnelle en <u>énergie finale</u> est inférieure à 15 kWh/m²/an Mise en place d'un smart grid 	- + ++ +++	Vérification du plan d'aménagement et cahier des prescriptions Vérification à l'instruction du PC

4- Réduire l'énergie grise des matériaux utilisés	<ul style="list-style-type: none"> - Energie grise: recommander sans imposer ou interdire - Conseiller l'usage de matériaux biosourcés - Interdire l'usage du PVC pour les menuiseries - Imposer l'usage de matériaux biosourcés pour l'isolation/les menuiseries - Imposer un label bas carbone (BBCA, E+C) 	- + ++ +++	Vérification du plan d'aménagement et cahier des prescriptions
TRANSPORTS ET VOIRIES			
5-Faciliter l'usage des transports en commun et transport doux	Prévoir des arrêts de bus au cœur ou à proximité immédiate du projet sur les voies principales Prévoir des cheminements doux (piétons et vélos) identifiés, accessibles et en trajets directs pour relier les points entre eux et au centre-ville		Vérification du plan d'aménagement Réalisation ou actualisation d'un plan des déplacements doux à l'échelle de la commune Réalisation d'une enquête sur le mode de transports, quelques années après la fin de son aménagement
6-Limiter la circulation des véhicules à moteur	Concevoir des voies partagées Créer des poches de stationnement regroupées en périphérie.		Vérification du plan d'aménagement
7-Anticiper la transition vers les véhicules électriques	Donner la possibilité d'installation de bornes de recharges pour véhicules électriques : - dans les parkings de stationnements collectifs - sur les ombrières photovoltaïques		Recensement des bornes de recharge Etude sur le taux d'utilisation des bornes
8-Optimiser l'éclairage public	- Réaliser une étude d'éclairage public secteur par secteur en phase réalisation - Faire réaliser une étude de faisabilité éclairage LED - Extinction nocturne de l'éclairage public et pilotage par horloges astronomiques - Favoriser l'éclairage des cheminements piétons plutôt que celui des routes	- + + ++	Bilan énergétique de l'éclairage
ADAPTATION A LA TRANSITION ENERGETIQUE			
9-Accompagner les futurs habitants dans la démarche de sobriété énergétique	Informier les futurs habitants des objectifs fixés sur l'opération au travers de réunions d'information et de supports de communication, en amont de leur acquisition	+	Mise en place d'un plan d'action Compte rendu des actions menées et synthèse à la fin Etc.
10-Créer les conditions d'une conception performante	Informations spécifiques des futurs acquéreurs sur les enjeux énergétiques, les objectifs à atteindre et comment y arriver. Accompagner les maîtres d'ouvrage dans leur démarche de conception grâce à un conseil spécifique pendant la conception	+ ++ +++	Mise en place d'un plan d'action Compte rendu des actions menées et synthèse à la fin Etc.
11-Faciliter le financement de la construction performante	Réduire le prix du foncier pour les projets qui s'inscrivent dans une démarche de performance énergétique élevée Participer au financement de l'isolation des bâtiments et/ou de la production locale d'énergie	+++ +++ ++++	

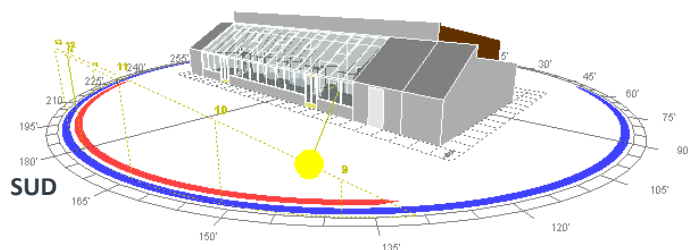
	Proposer des aides financières sur des bâtiments passifs. Par exemple, passer des accords avec une banque afin que la faiblesse des charges de chauffage sur un bâtiment passif soit prise en compte pour obtenir une mensualité de remboursement de prêt plus élevée		
--	---	--	--

15. ANNEXES : FICHES TECHNIQUES sur les énergies renouvelables

15.1. FICHE Energie solaire généralités

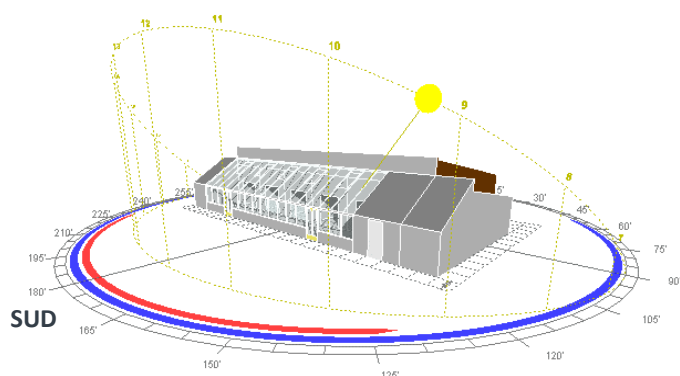
(a) Trajectoire du soleil au cours de l'année

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.



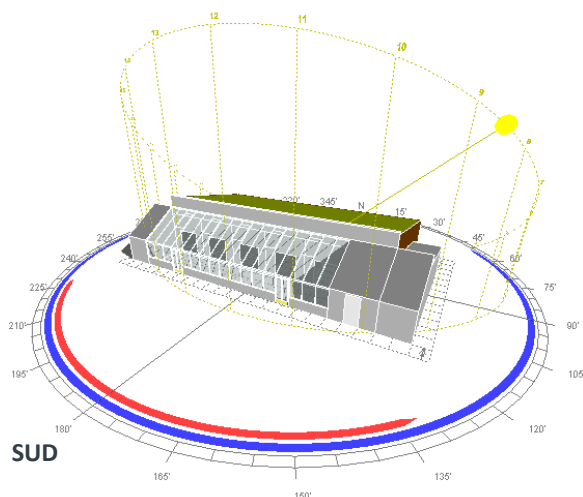
Hiver

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.

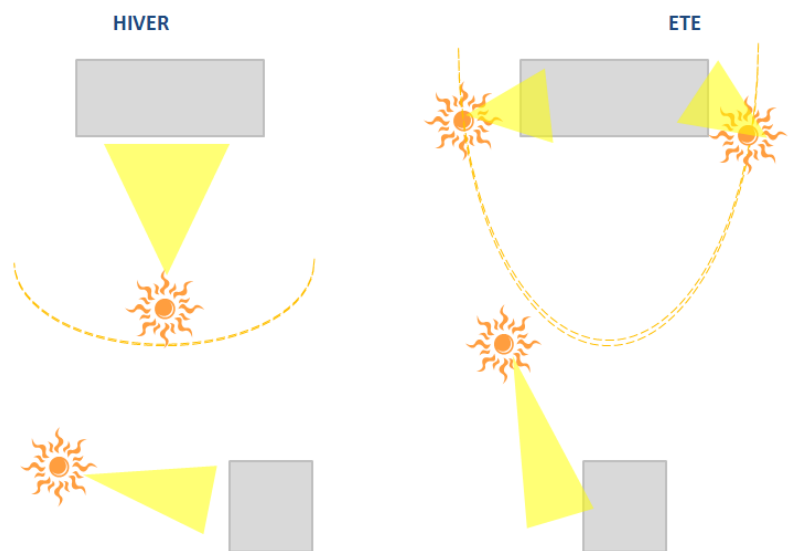
Il est évident que la réalité est toujours plus nuancée car l'architecte ne conçoit pas des bâtiments uniquement parallélépipédiques, ni orientés strictement Nord-Sud ou Est-Ouest.

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.

BÂTIMENT DONT LES FAÇADES PRINCIPALES SONT ORIENTÉES AU SUD

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

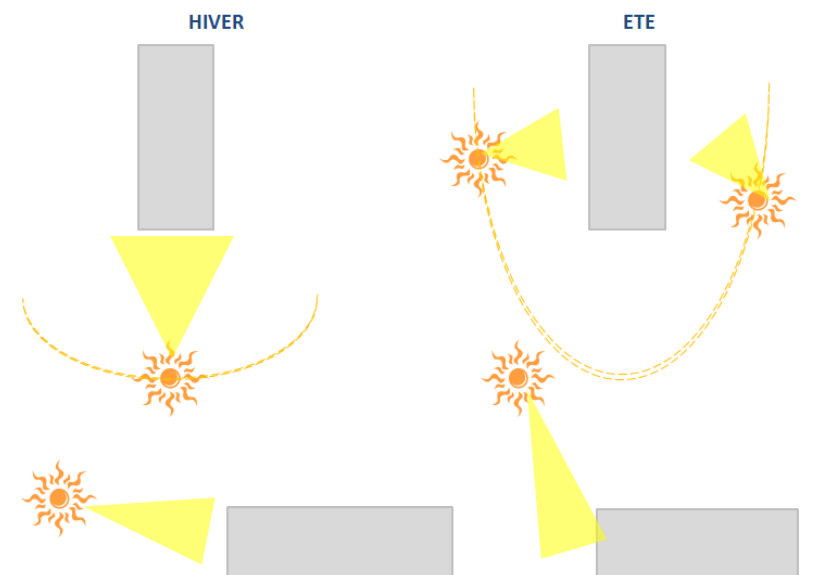
- en hiver : le bâtiment **profite d'apports solaires gratuits**, car le **soleil est bas sur l'horizon** avec un rayonnement incident proche de l'horizontal, qui pénètre donc facilement par les vitrages ;
- en été : **les apports solaires directs au Sud sont limités** car le soleil est très haut dans 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 développé de ces façades n'est pas trop important, ce qui limite les risques de surchauffe.



BÂTIMENT DONT LES FAÇADES PRINCIPALES SONT ORIENTÉES 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 risque de surchauffes.



(c) Préconisations d'ordre général

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

ORIENTATION DES BÂTIMENTS

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.

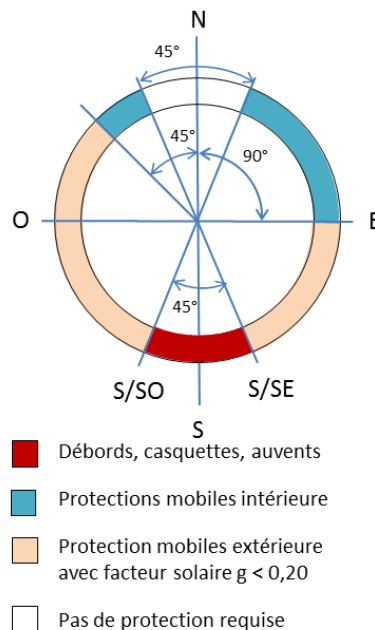


Figure 32: Protections solaires adaptées selon l'orientation (Source : La conception bioclimatique, Terre vivante)

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.

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.

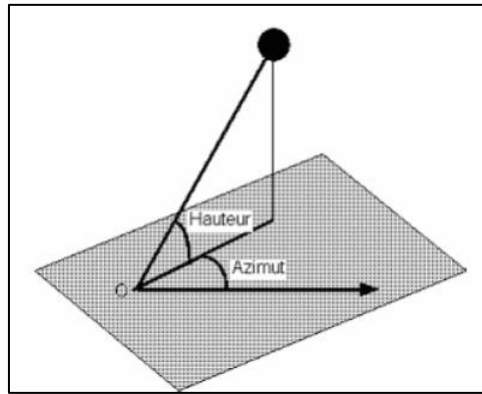


Figure 33: hauteur angulaire (source ENSTIB)

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 :

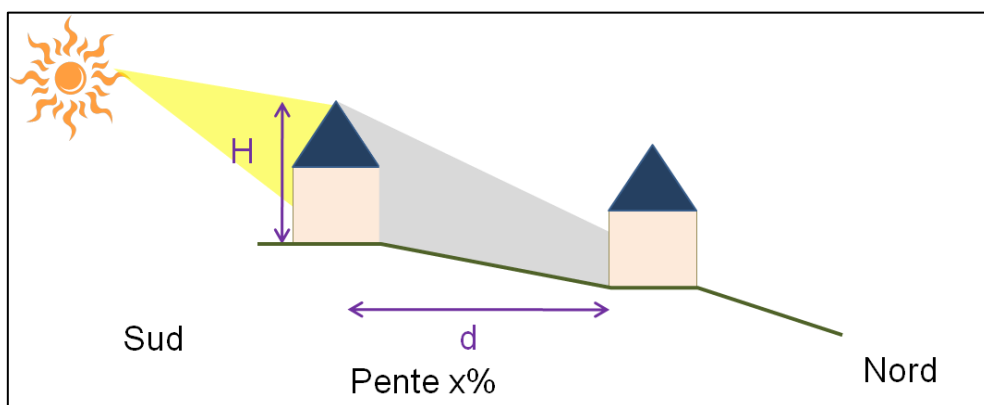


Figure 34: Paramètres à prendre en compte pour le calcul des marges de recul

Le tableau suivant présente un exemple de calcul de marge de recul entre un bâtiment de hauteur $H = 9$ 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 $H = 9$ m
6.0%	$d = 4.33 \times H$	$d = 39.0$ m
5.5%	$d = 4.24 \times H$	$d = 38.2$ m
5.0%	$d = 4.15 \times H$	$d = 37.4$ m
4.5%	$d = 4.05 \times H$	$d = 36.5$ m
4.0%	$d = 3.96 \times H$	$d = 35.6$ m
3.5%	$d = 3.86 \times H$	$d = 34.7$ m
3.0%	$d = 3.76 \times H$	$d = 33.8$ m
2.0%	$d = 3.54 \times H$	$d = 31.9$ m
0.0%	$d = 3.08 \times H$	$d = 27.7$ 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.**

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/m^2 « tombe » par an sur les départements de l'Ouest de la France, cela correspond à peu près à 150 litres de fioul par m^2 .

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.

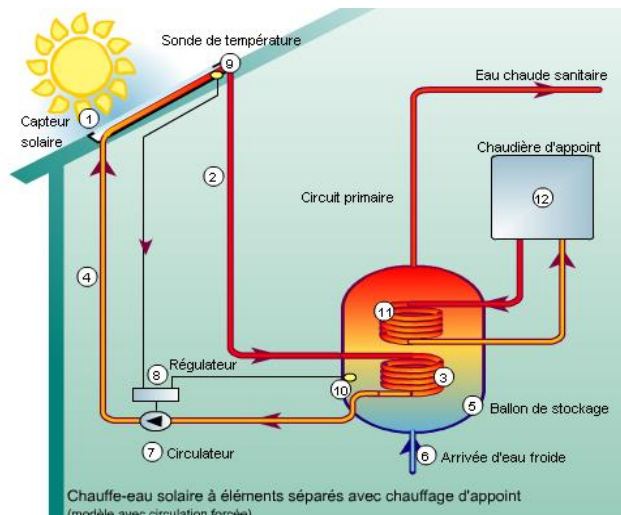


Figure 35 : principe de fonctionnement d'un' installation solaire thermique

15.2.2. 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.

15.3. FICHE Energie solaire photovoltaïque

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

En revanche, même si l'intégration de tels systèmes doit être réfléchie 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 36 : 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 37 : 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.**

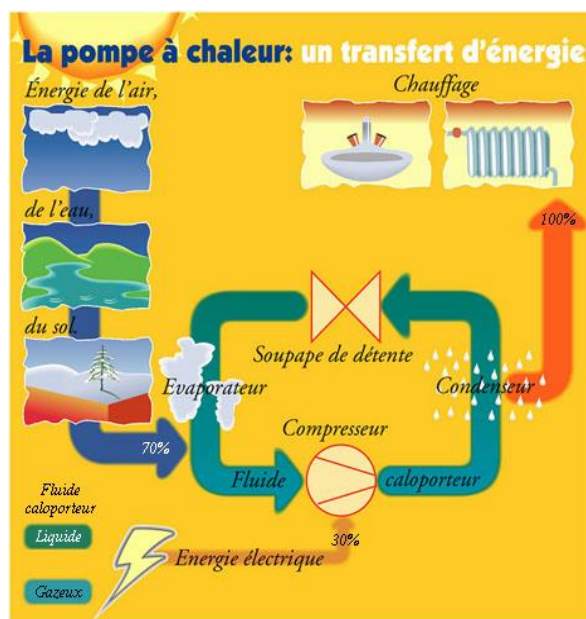


Figure 38 : principe de fonctionnement des pompes à chaleur (source www.airclim-concept.com)

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 breton :

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.

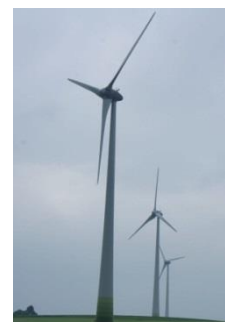


Figure 39: Source Schéma éolien terrestre en Bretagne

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.

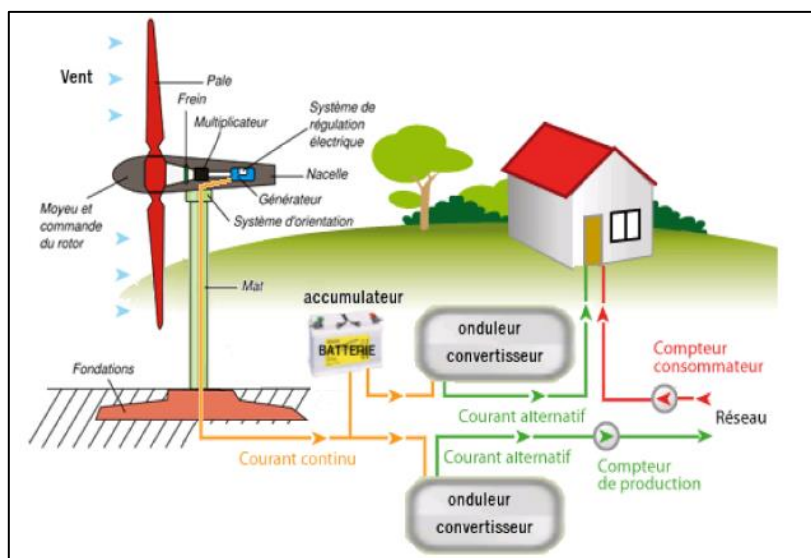


Figure 40: Source Synagri

Figure 41: 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	Article R.421-2 du code de l'urbanisme
> 50 m	<p>Enquête publique</p> <p>Assujetties à la législation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)</p> <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 	<p>Articles L. 553-2 et R. 122-9 du code de l'environnement</p> <p><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></p> <p><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></p>
Parc éolien	<p>Evaluation préalable des conséquences sur l'environnement</p> <p>Les installations éoliennes doivent comporter plus de 5 mâts</p>	<p><i>Etude d'impact pour les éoliennes de plus de 50 mètres, notice d'impact pour les éoliennes de moins de 50 mètres.</i></p> <p><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></p>

Figure 42: 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.

Plus d'information : la DDTM 35 a réalisé une fiche pratique éolien téléchargeable sur le site suivant : <http://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/petit-et-moyen-eolien-a2279.html>

15.6. FICHE Géothermie

15.6.1. LA GÉOTHERMIE TRÈS BASSE ÉNERGIE (TEMPÉRATURE INFÉRIEURE À 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 Bretagne, la nature du sol et la profondeur de l'aquifère influenceront l'efficacité du système mis en place. Figure 43 © 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 44 : © 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 45 : © 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 :

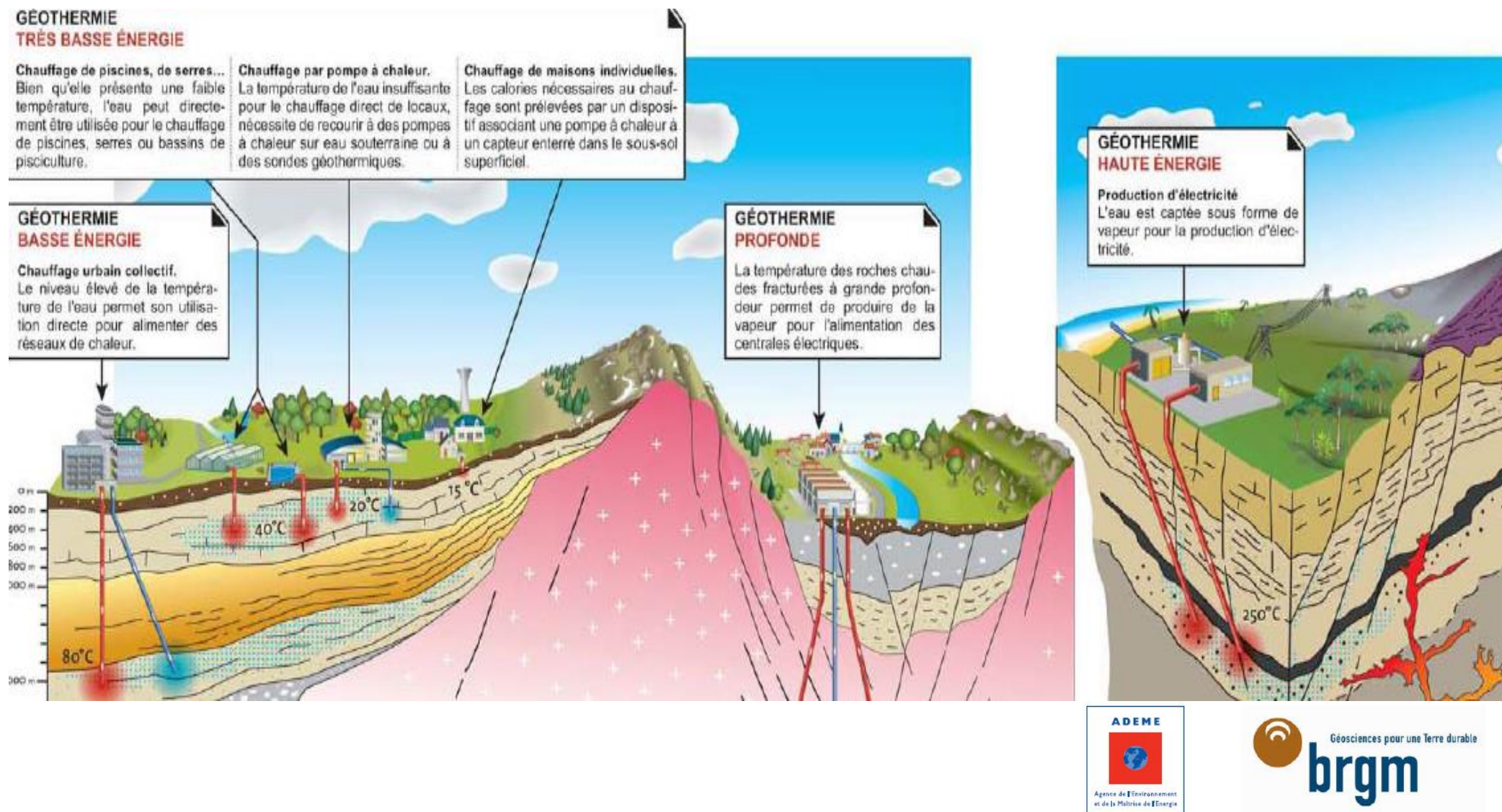
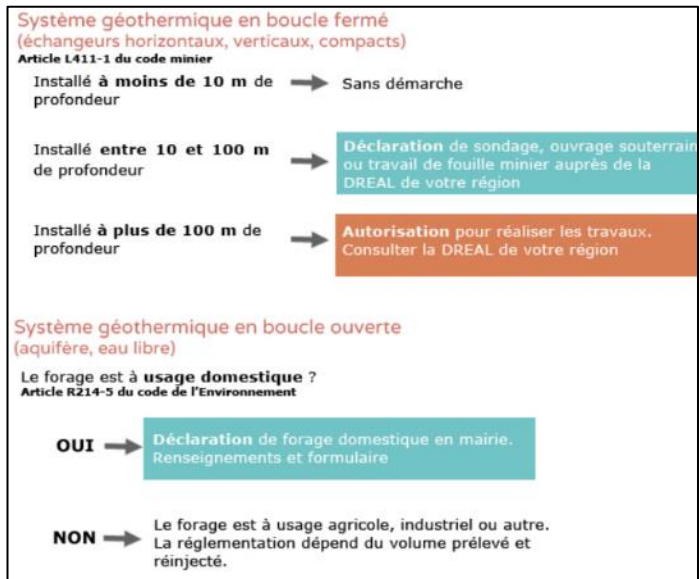


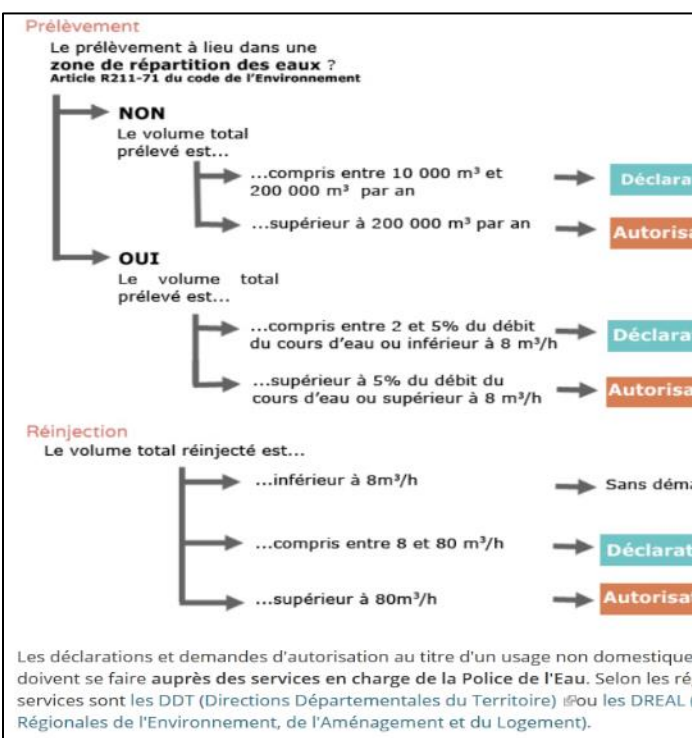
Figure 46 : Synthèse des techniques de géothermie © ADEME - BRGM



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.

Source BRGM



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 processus 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)

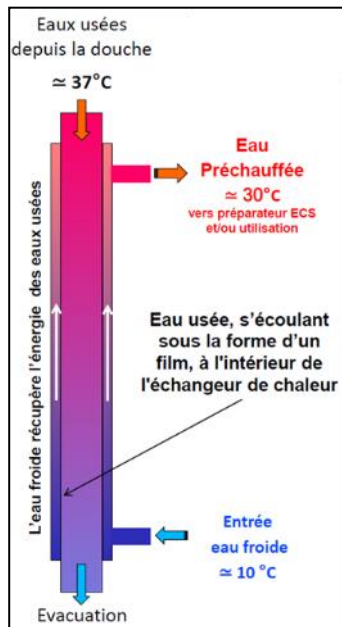
Cette solution nécessite obligatoirement une évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes. Elle peut permettre l'utilisation de matériel non spécifique aux eaux usées (échangeurs standards, PAC) et nécessite généralement des systèmes sophistiqués de filtrations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



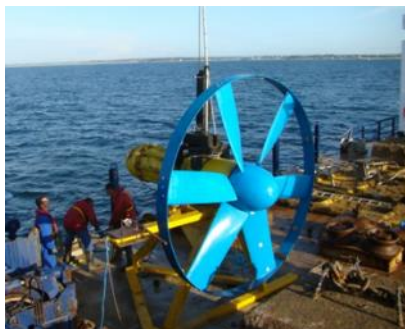
Cette solution peut être mise en œuvre individuellement ou à l'échelle d'un bâtiment d'habitat collectif. Un échangeur de chaleur est posé directement sur la canalisation d'évacuation des eaux de douche et permet de récupérer environ 60% de la chaleur.

15.8. FICHE énergie marines renouvelables en Bretagne

Avec ses 2 730 km de côtes, la Bretagne dispose d'atouts naturels favorables au développement des énergies marines renouvelables à partir de différentes sources : les courants, les marées, les vagues, la houle, la différence de salinité et le vent

La région Bretagne ainsi que de grands acteurs industriels sont engagés dans le développement des énergies renouvelables marines. Avec, 50% des compétences R&D maritimes françaises concentrées en Bretagne, la filière est en plein essor. C'est le premier pilier du **pacte électrique breton**.

Hydrolien



Cette énergie nécessite la mise en place d'une turbine sous-marine qui utilise l'énergie cinétique des courants marins pour créer une énergie mécanique transformée ensuite en électricité par un alternateur.

Un courant de marée de 5 nœuds, soit 9,25 km/h, renferme plus d'énergie qu'un vent soufflant à 80 km/h.

Relativement peu encombrante (en comparaison avec une éolienne), l'hydrolienne tire parti du caractère renouvelable et surtout prédictible de sa source.

Eolien offshore



Cette technologie reprend le système de l'éolienne terrestre par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique puis électrique, à l'aide de turbines. Cette technologie est la plus mature des EMR.

Les éoliennes posées, regroupées en parcs en pleine mer (offshore), sont implantées sur des fondations directement fixées au plateau continental à une profondeur maximum de 40 m.

La mer est un emplacement n'offrant aucun obstacle aux vents. Ainsi, même à basse altitude, ceux-ci ont une vitesse plus importante et sont moins turbulents.

La partie « marine » du parc comprend :

- les aérogénérateurs (fondations + mâts + turbines). Les mâts peuvent atteindre une centaine de mètres au-dessus du niveau de la mer et chaque pale peut dépasser 50 m de long ;
- un module pour les équipes d'intervention ;

	<ul style="list-style-type: none"> - un transformateur ; - les câbles sous-marins assurant la collecte et le transport de l'énergie jusqu'à la côte.
<p>Eolien Flottant Offshore</p> 	<p>L'éolien maritime flottant utilise la force des vents en pleine mer, sur des sites qui peuvent - contrairement à l'éolien posé - dépasser 40m de profondeur.</p> <p>La mer est un emplacement de choix pour l'énergie éolienne: il n'y a aucun obstacle aux vents. Ainsi, même à basse altitude, les vents ont une vitesse plus importante et sont moins turbulents. En repoussant la limite maximum de la profondeur de 40m à 300m, les éoliennes flottantes peuvent être installées plus loin des côtes que les éoliennes posées, limitant ainsi les conflits d'usage et permettant de tirer parti d'une ressource en vent plus importante et plus stable.</p>
<p>Marée moteur</p>  <p>Barrage de la Rance</p>	<p>A la différence des hydroliennes posées au fond de la mer et utilisant l'énergie cinétique (mouvement) de l'eau, les usines marémotrices utilisent l'énergie potentielle (différence de niveau entre les masses d'eau).</p> <p>Le phénomène de marée est dû au différentiel de temps de rotation entre la Terre (24 heures) et la Lune (28 jours). Il s'ensuit que le globe terrestre tourne à l'intérieur d'une "coque" d'eau de mer déformée par l'attraction lunaire.</p> <p>Par rapport à la plupart des autres énergies naturelles, l'énergie marémotrice présente l'avantage d'être parfaitement prédictible : en un point donné, l'énergie disponible ne dépend que de la position relative des astres et de la Terre.</p>
<p>Houlomoteur</p> 	<p>Cette technologie s'apparente à un dispositif mécanique qui utilise le mouvement des vagues - la houle - pour articuler un ensemble de cylindres et produire de l'électricité via un vérin hydraulique et une turbine.</p> <p>L'intérêt de l'énergie houlomotrice repose sur sa simplicité d'installation ne nécessitant pas de fondation.</p>

Figure 47: Panorama des technologies d'exploitation des EMR (<http://energies-marines.bretagne.fr/>)

LES EMR EN BRETAGNE
2 sites d'essais • 4 fermes pilotes
2 fermes de production • 5 technologies

HYDROLIEN (FEM)
HYDROLIEN (Arcouest)
ÉOLIEN POSÉ OFFSHORE (Ailes Marines)
MARÉMOTEUR (Barrage de la Rance)
HOULOMOTEUR (Waveroller)
ÉOLIEN FLOTTANT (Winflo)
ÉOLIEN FLOTTANT (FEM)

Carte des projets EMR en Bretagne

/ Sites
Site d'essais (France Énergies Marines)
Ferme pilote
Ferme de production

/ Réseau de compétences
Instituts de recherche
France Énergies Marines • Ifremer • Brest
DCNS Business Unit • Brest
Pôle de compétitivité
Pôle Mer Bretagne • Brest
Cluster industriel
Bretagne Pôle Naval • Lorient

/ Infrastructures
Port de maintenance
Port industriel (général de passer d'essai aux EMR)
Banc d'essai Renk France pour turbines éoliennes (général)

/ Réseau électrique
400 kV
225 kV
Site de production
Puissance électrique

/ Echelle géographique
0 10 20 30
Carte des projets EMR en Bretagne

/ 2 sites d'essais (FEM)
Un site d'essais en mer a vocation à tester en conditions réelles les technologies d'exploitation des ressources énergétiques marines. Un site d'essais est ouvert aux différentes technologies.
En Bretagne, France Énergies Marines (FEM) permet l'accès à deux sites d'essais : Paimpol-Bréhat et Groix. Ils sont tous les deux adossés à des fermes pilotes pour mutualiser les coûts d'investissement.

Le site hydroléon de Paimpol-Bréhat
Le site d'essais hydroléon de FEM pourrait accueillir prochainement pour des tests le projet d'hydroléon de grande puissance ORCA. Piloté par Alstom, ce projet est labellisé par le Pôle Mer Bretagne et bénéficie des fonds Investissements d'avenir.

Le site éolien de Groix
Prévu au sud de l'île de Groix, le site d'essais FEM est dédié à l'éolien offshore flottant. La ferme pilote du projet WinFlo est située à proximité de ce site d'essais.

/ 4 fermes pilotes
Une ferme pilote est un site d'expérimentation EMR dédié à un seul projet.

HYDROLIEN / Arcouest
/ Enjeu : tester les principaux éléments d'hydroléon de grande puissance (faisabilité technique, économique, environnementale et administrative)
/ Porteurs du projet & technologie : le 1^{er} prototype d'hydroléon Arcouest d'EDF a été conçu par DCNS/Openhydro.
/ Dimensions & positionnement : Parc de 4 hydroléon. Turbines de 26 m de diamètre. Immersion à 35 m de profondeur
/ Puissance électrique : 2 MW à 2,5 m/s
/ Budget global : de l'ordre de 40 M€ (dont 7,2 M€ d'aides publiques)
HYDROLIEN / Sabella D10
/ Enjeu : proposer une hydroléon simple et robuste, gage de fiabilité et de moindre maintenance.
/ Porteur(s) du projet : Sabella, associée à GDF Suez et CDK technologies
/ Puissance électrique : 4 hydroléon de 1,1 MW

ÉOLIEN FLOTTANT / WinFlo
/ Enjeu : réaliser la première éolienne flottante multi-MW française
/ Porteur(s) du projet : Winacelle (consortium Nass&Wind et DCNS) et Vergnet
/ Centres R&D : Ifremer, ENSTA Bretagne, LBMS Brest
/ Technologie : Free Floating Platform (FFP), éolienne offshore flottante en eaux profondes sur plate-forme semi-submersible à ancres caténaires (facilité de maintenance)
/ Dimensions & positionnement : Hauteur du démonstrateur : 100 m. Positionnement au-dessus de fonds allant de 50 à 200 m
/ Puissance électrique : multi-MW
/ Budget global : 40 M€. Ce projet bénéficie des fonds Investissements d'avenir

HOULOMOTEUR / Waveroller
/ Enjeu : récupération de l'énergie des vagues
/ Porteur(s) du projet : DCNS (France) et Fortum (Finlande). Projet en phase d'étude de faisabilité.
/ Technologie : DCNS évalue plusieurs technologies dont le Waveroller, un battant qui repose sur le fond de la mer. Le mouvement de va-et-vient que lui imprime la houle crée de l'énergie.
/ Puissance électrique : le site de la future ferme expérimentale aura une puissance de 1,5 MW

ÉOLIEN POSÉ OFFSHORE (Ailes Marines)
/ Technologie : Sabella, écran de turbine posé sur le fond marin. Maintien en conditions opérationnelles pendant 10 ans.
/ Dimensions : Hydroléon équipée d'un rotor de 10 m de diamètre.
/ Budget global : 10,3 M€. Ce projet bénéficie des fonds des investissements d'avenir, du soutien de l'Europe et de la Région Bretagne.

ÉOLIEN FLOTTANT (FEM)
/ Enjeu : proposer une éolienne simple et robuste, gage de fiabilité et de moindre maintenance.
/ Porteur(s) du projet : Sabella, associée à GDF Suez et CDK technologies
/ Puissance électrique : 4 éolien de 1,1 MW

Figure 48: Carte des EMR en Bretagne (Bretagne développement Innovation)

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

15.9.1. 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.

15.9.2. 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 liées 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.

15.9.3. Enquête publique

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

15.9.4. 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.

15.10. FICHE Bois énergie : solutions collectives

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 déchargement 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.

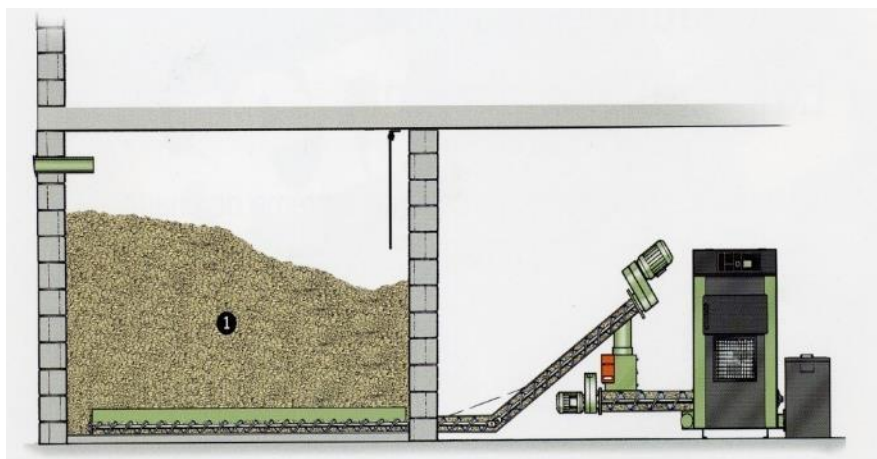


Schéma de principe d'une chaufferie bois.

15.10.2. Combustible

A Origine du bois

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

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

- de connexes d'industrie du bois



- 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).

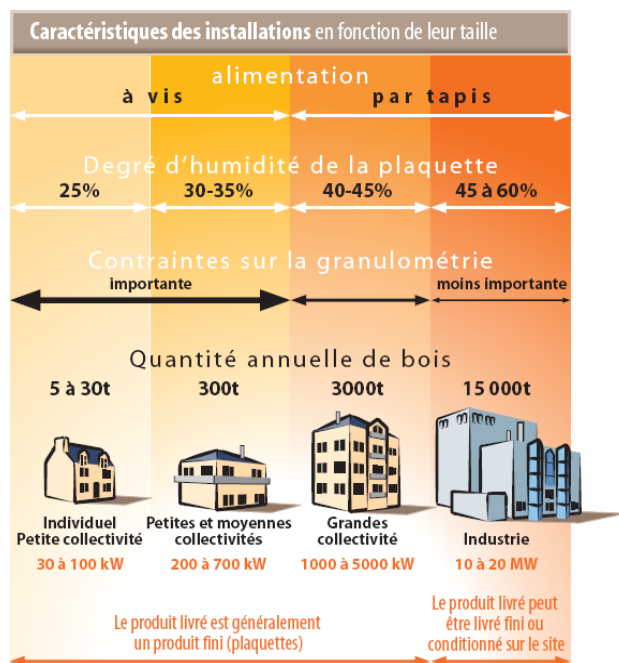
Ces caractéristiques étant variables en fonction des gammes de puissance et des constructeurs de chaudière, le maître d'ouvrage devra exiger un **engagement du fournisseur** sur la base de la qualité du bois préconisée par le constructeur de la chaudière.

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.
- **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.

² DIB : déchets industriels banals

La gamme
(chauffage
usages
A chaque
de
puissance
être
acceptable
Le granulé
moyennes
plusieurs



15.10.3. Gamme de puissance

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

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

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

Source Aile

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 (COVM) : 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 (PM_{2,5}).

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.**

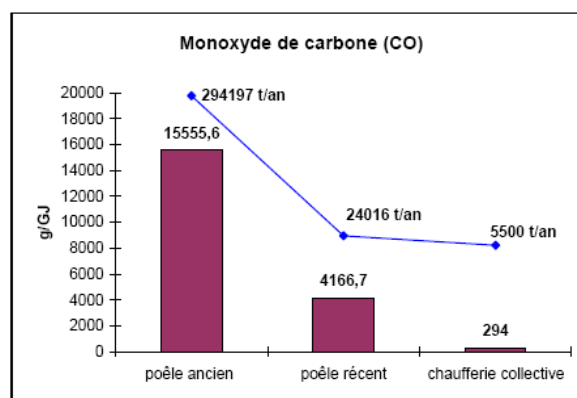
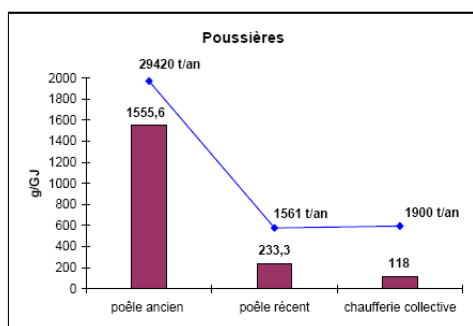
Le secteur domestique est responsable en grande partie des émissions de polluants atmosphériques liés à la combustion du bois :

- 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

15.11.1. 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**.

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

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 49 : 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.