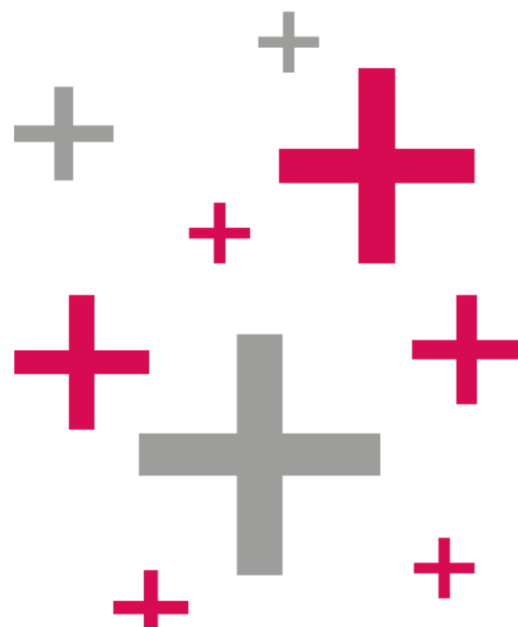

Création d'un lotissement : Houssaye – Saint Malo



Hôtel de Ville de Saint-Malo
Place Chateaubriand,
35418 Saint-Malo
02 99 40 71 11

**Etude sur le potentiel de développement
des énergies renouvelables -
*Article L. 300-1 du Code de l'Urbanisme***



IMPULSE Rennes
12A rue du Patis Tatelin
35000 Rennes

SOMMAIRE

● TABLE DES MATIERES

●	SYNTHESE NON TECHNIQUE DE L'ETUDE	4
●	LES ORIENTATIONS DU PROJET LIEES A L'ENERGIE	8
●	PREAMBULE	8
○	Contexte de la future zone d'aménagement concertée	8
○	Principe et méthode de l'étude	8
●	DES ENGAGEMENTS INTERNATIONAUX A LA REGLEMENTATION DES DOCUMENTS D'URBANISME.	9
○	Processus de lutte contre le réchauffement climatique	10
●	<i>Processus international</i>	10
●	<i>Processus européen et national</i>	10
○	Des engagements internationaux aux PLUi puis permis d'aménager ou construire.	11
○	Contexte réglementaire	13
○	Contexte local	14
●	PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	16
○	Positionnement géographique	16
○	Périmètre d'étude	16
○	Végétation et bâti existant	17
○	Programmation et schéma d'aménagement étudié	18
●	PHASE 1 : POTENTIEL DE MOBILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES	19
○	Énergies fossiles/fissibles disponibles	19
○	Les énergies renouvelables et de récupération	19
●	<i>Inventaire des énergies renouvelables disponibles et pertinence sur le projet</i>	19
●	<i>L'énergie solaire</i>	21
●	<i>L'énergie bois</i>	23
●	<i>L'énergie éolienne (production d'électricité)</i>	26
●	<i>La géothermie (production de chaleur et d'électricité)</i>	29
●	<i>La récupération d'énergie sur les eaux usées</i>	32
●	<i>Application</i>	34
●	Innovations liées à la production d'électricité	35
●	<i>L'autoconsommation</i>	35
●	<i>Les smartgrids</i>	36
●	Synthèse des énergies renouvelables mobilisables sur site	38
●	PHASE 2 : DETERMINATION DES IMPACTS ENERGIE/CLIMATS LIES AU BATIMENTS	41
○	Usages énergétiques attendus	41
■	<i>Les usages liés aux bâtiments</i>	41
■	<i>Cas particulier de l'électricité domestique :</i>	42
○	Estimations des impacts énergie/carbone en fin d'opération	42
■	<i>Définition des niveaux de performance énergétique par typologie de bâtiment</i>	42
■	<i>Niveaux d'Impact carbone des produits de construction</i>	43
■	<i>Programmation :</i>	43
■	<i>Calcul des besoins énergétiques de l'ilot en fin d'opération</i>	43
○	Calcul des émissions de GES liées aux matériaux en fin d'opération	44
●	PHASE 3 : TAUX DE COUVERTURE DES BESOINS DE LA ZONE PAR LES ENR	47
○	Production d'électricité par micro-éoliennes	47
○	Production de chaleur et/ou d'électricité par énergie solaire	47

○	Production de chaleur par géothermie	48
○	Production de chaleur par Aérothermie	48
○	Production de chaleur par Bois énergie	48
○	Synthèse	49
●	PHASE 4 : ETUDE DE L'IMPACT DE LA MOBILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES	50
○	Comparaison des consommations en énergie finale	51
○	Comparaison des consommations en énergie primaire	52
○	Comparaison des coûts de fonctionnement actualisés sur 20 ans	53
▪	<i>Conclusion sur l'analyse économique :</i>	57
○	Comparaison des émissions de gaz à effet de serre	57
○	Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne	58
○	Synthèse de l'analyse des scénarios d'approvisionnement en énergie	58
●	PHASE 5 : PRISE EN COMPTE DE L'IMPACT CARBONE LIE AUX MATERIAUX DE CONSTRUCTION ET A LA CONSOMMATION D'ENERGIE.	59
●	PHASE 6 : ETUDE D'OPPORTUNITE DE CREATION D'UN RESEAU DE CHALEUR ALIMENTE PAR LES ENR	59
○	Etude d'opportunité d'un réseau de chaleur sur le secteur	60
○	Notion de densité énergétique pour un réseau de chaleur	60
▪	<i>Hypothèses de consommations énergétiques considérées</i>	61
○	Etude d'opportunité	61
•	<i>Analyse qualitative</i>	61
•	<i>Conclusion :</i>	62
●	PHASE 6 : 1ERE APPROCHE ENERGIE CLIMAT SUR LES TRANSPORTS ET L'ECLAIRAGE PUBLIC	63
○	Transports	63
▪	<i>Propositions pour limiter l'impact des transports</i>	63
▪	<i>Estimation des impacts annuels domicile-travail</i>	63
○	Consommation énergétique attendue pour l'éclairage public	64
●	SYNTHESE DES IMPACT ENERGIE CLIMAT DE LA ZONE SUR 50ANS.	65
●	PHASE 7 : PISTES DE MESURES COMPENSATION	66
○	Compensation carbone	66
▪	<i>Compensation carbone volontaire</i>	66
○	Proposition de mesures compensatoires	67
▪	<i>Production locale d'électricité</i>	67
▪	<i>Stockage de carbone : plantation de biomasse</i>	68
●	PHASE 8 : SYNTHESE DES IMPACTS	70

• 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 structurée
Solaire passif	++	Orientation majoritairement Sud des bâtiments Attention à la pente du terrain qui influe sur l'implantation des bâtiments et donc de la toiture. 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. 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	-	Non adapté à un site urbanisé.

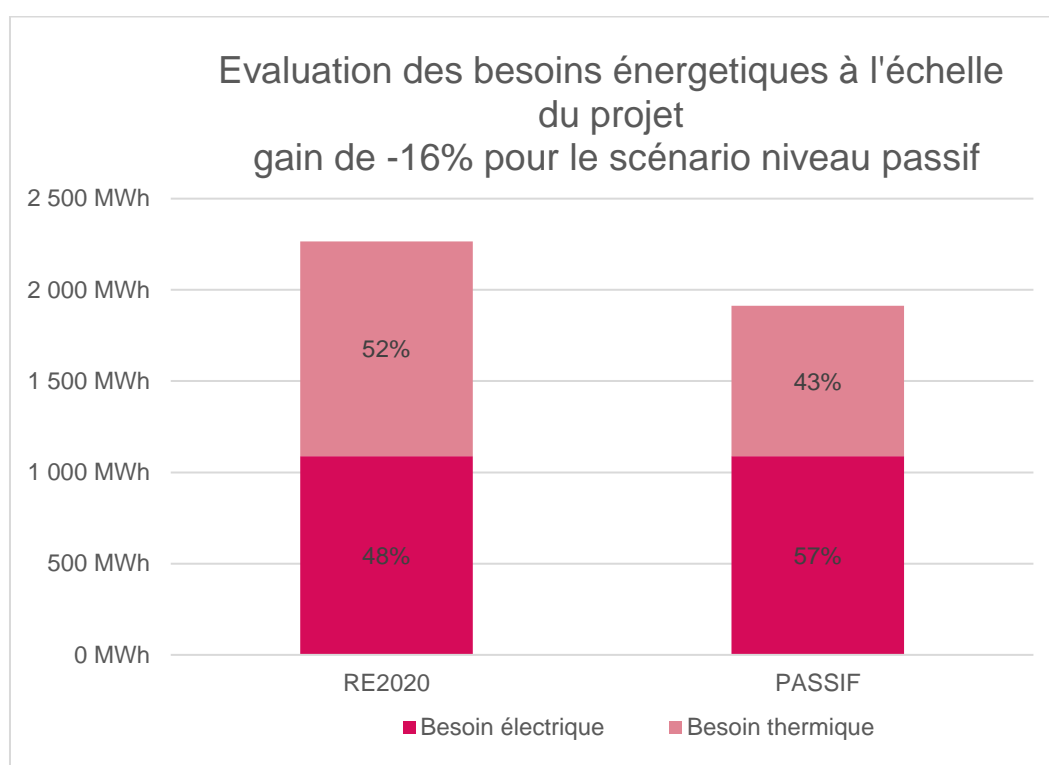
➔ L'énergie solaire passive et active, l'énergie bois, la récupération d'énergie sur les eaux usées ou sur les process, l'aérothermie et la géothermie basse énergie présentent un potentiel de développement.

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

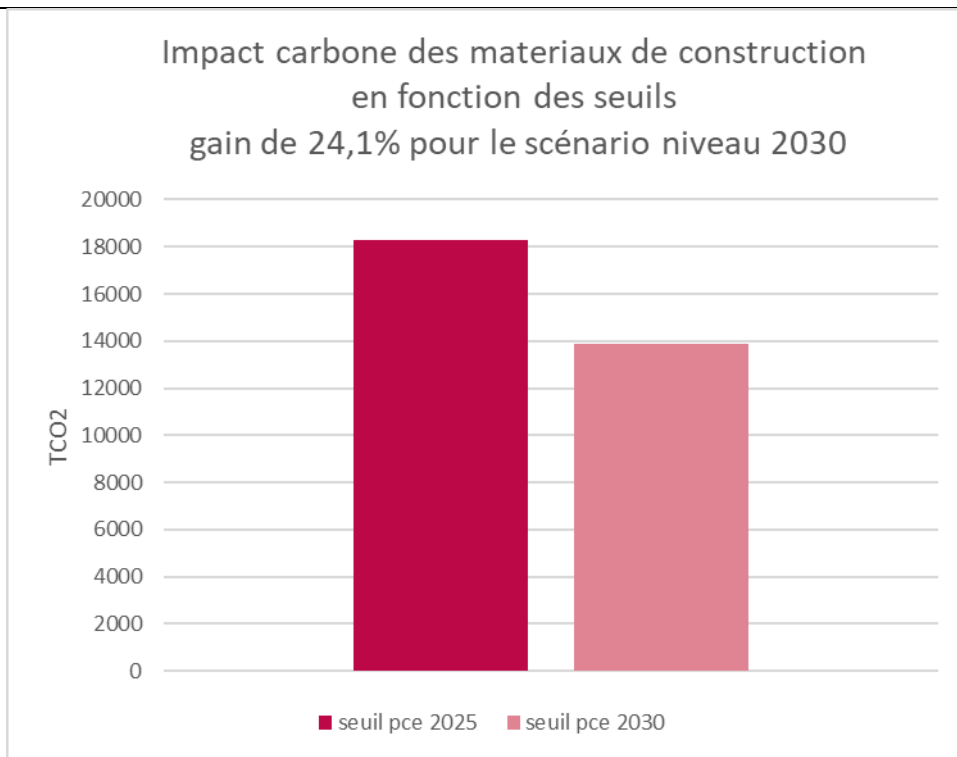
Hypothèse de programmation :

TYPE	NOMBRE	SURFACE TOTALE	Part des surface bâties
Équipement	5	720	3%
Logements collectifs	238	19040	71%
Logements individuel	48	4560	17%
Maison individuelle	20	2310	9%
Total général	311	26630	1

Besoins énergétiques des bâtiments :



Impact carbone des produits de construction des bâtiments :



Taux de couverture par les ENR :

ENR		Taux de couverture moyen par les EnR RE2020 base				Taux de couverture moyen par les EnR niveau isolation passif			
Technologie	Caractéristiques	Productible MWh/an	Chaleur	Electricité	Total Energie	Productible	Chaleur	Electricité	Total Energie
Panneaux Solaire thermique	Inclinaison 30° Orientation: S-E	266	23%	0%	12%	266	32%	0%	14%
Panneau Solaire photovoltaïque	Inclinaison 30° Orientation: S-E	824	0%	76%	36%	824	0%	76%	43%
Chaufferie bois granulés		1176	100%	0%	52%	824	100%	0%	43%
Chaufferie bois plaquette		1176	100%	0%	52%	659	100%	0%	43%
PAC géothermique	COP 3,5	835	71%	0%	37%	585	71%	0%	31%
PAC eau	COP 2.7	741	63%	0%	33%	519	74%	0%	32%
Micro éolien	P:3KW N:18	41	0%	4%	2%	41	0%	4%	2%

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

En considérant une orientation optimale des panneaux solaires, la production annuelle d'électricité couvre 76 % des besoins annuels

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

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

	Consommation énergétique annuelle estimée (MWh/an)		Emissions min de CO2 (T/50 ans) y compris fabrication des matériaux		Surface forestière à planter (ha)		Surface forestière à planter (multiple de la surface de la zone)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Bâtiments	1346	2391	17 717	28 987	19,2	31,3	1,5	2,5
Trajets domiciles travail en voiture	1364		17 720		19		2	
Eclairage	5,5	12,5	38	13	0,04	0,01	0	0
TOTAL	2 716	3 768	35 474	46 719	38	51	3	4

Figure 1: Synthèse des impacts estimés d'un point de vue énergétique et effet de serre

L'écart de consommation entre un bâtiment performant (enveloppe + systèmes) et un bâtiment plus classique peut aller jusqu'à 60%.

Les poids énergie et carbone des déplacements domicile/travail est du même ordre de grandeur que ceux du bâtiment. Il conviendrait donc d'intégrer les alternatives à la voiture individuelle dans le projet.

• PROPOSITION D'ORIENTATIONS DU PROJET LIEES A L'ENERGIE

Sobriétés énergétiques :

- X% des logements collectifs seront certifiés Passivhaus ou atteindront un gain de 20% sur l'indicateur CEP de la RE2020.
- Pas de logements mono-orientés
- Logements individuels avec un accès majoritairement nord favorisant un jardin au sud et une pièce de vie principale orientée sud.

Reduction de l'impact carbone des constructions :

- Les constructions présenteront un gain de 25% sur les indicateur IC composant et IC Energie prévu dans la RE2020.

Reduction de l'impact carbone des énergies :

- Etude d'une étude de faisabilité technico-économique détaillée pour certains lots et/ou typologie de construction (logements collectifs/individuels). Certaines technologies peuvent être imposées selon l'orientation du lot (ex : solaire thermique/photovoltaïques pour les lots orientés Sud Est à Sud-Ouest)
- Obligation de couvrir à minima X% de la surface de toiture des logements collectifs par des panneaux solaires photovoltaïques ou thermiques.
- Conception de la toiture des logements collectifs permettant l'implantation ultérieure de panneaux solaires (dimensionnement, gaine technique en attente jusqu'au point de raccordement électrique du bâtiment...)

Promotion des filières de matériaux biosourcés :

- Les constructions atteindront le niveau 1 du référentiel biosourcé.

Reduction de l'impact carbone lié à la mobilité :

- Les logements collectifs et individuels bénéficient de rangements vélo fonctionnels (avec un accès aisé depuis l'extérieur) et dimensionnés pour anticiper le développement de cette mobilité.
- Un vélo électrique sera fourni par logement.
- Les garages (voiture/vélo) seront équipés de prises de recharges pour véhicules électriques.

Le contrôle de ces points au dépôt du PC peut s'avérer complexe. Il peut être intéressant de confier une mission de contrôle à un bureau d'études (mission VISA).

• LES ORIENTATIONS DU PROJET LIEES A L'ENERGIE

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

• PREAMBULE

○ Contexte de la future zone d'aménagement concertée

La Ville de Saint-Malo envisage la création d'une zone d'habitat de **522 logements** qui porte sur une superficie d'environ 12 ha sur le secteur de la Houssaye.

○ 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.

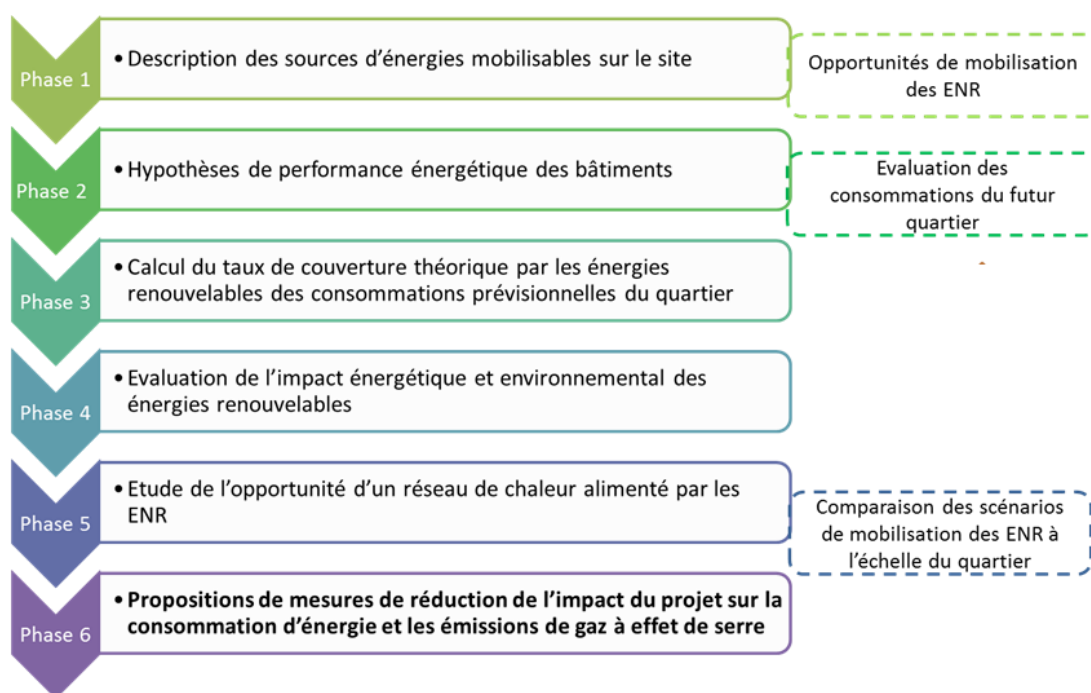
L'article L-300-1 du Code de l'Urbanisme précise que : « Toute action ou opération d'aménagement faisant l'objet d'une évaluation environnementale doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de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

• DES ENGAGEMENTS INTERNATIONAUX A LA REGLEMENTATION 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 prennent 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.

○ Processus de lutte contre le réchauffement climatique

• Processus international

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

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

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

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

• 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 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 Énergétique pour la Croissance Verte (LETCV) fixe par 167 mesures **réglementaires** (ordonnances et décrets d'application), les grands objectifs et le calendrier de la politique énergétique nationale d'ici à 2050 dont les grandes lignes sont ci-dessous :

- **Réduire de 50% 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.

- 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.

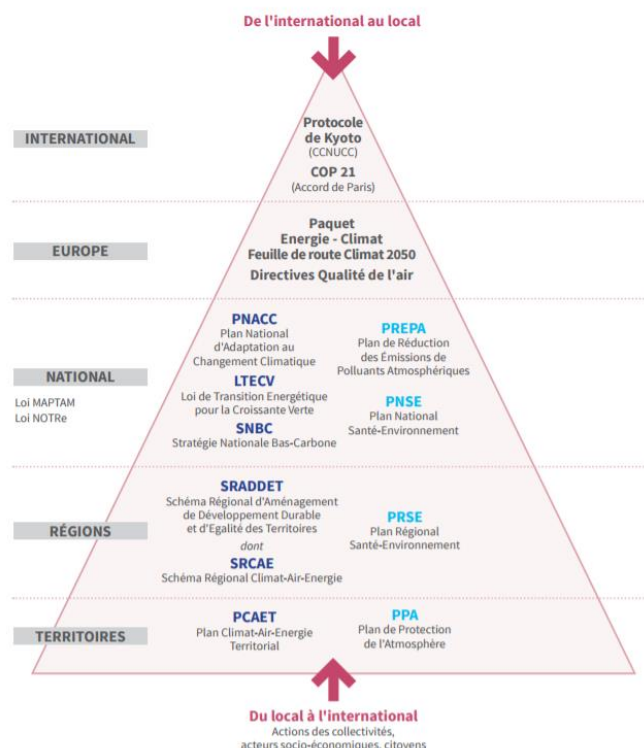


Figure 2: Des engagements internationaux aux objectifs locaux (source ADEME www.territoires-climat.ademe.fr)

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 ».

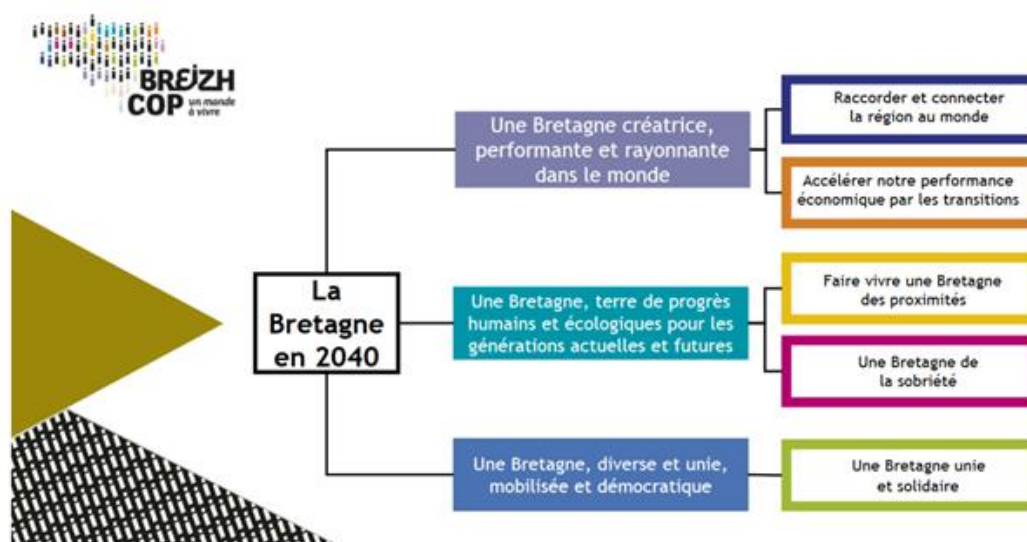


Figure 4 : Objectifs du SRADDET

La LTECV 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.

CHOISSONS UN MODÈLE ÉNERGÉTIQUE DURABLE

Notre objectif en ce domaine est simple - même s'il est très ambitieux : devenir la première région française en matière de transition énergétique. Il passe par la réduction drastique de nos consommations énergétiques et la couverture de nos besoins par des énergies renouvelables. Pour ce faire, nous entendons...

- **Objectif 1** : Devenir à l'horizon 2050 une région à énergie positive et bas carbone - un tribut essentiel à la lutte contre le changement climatique, puisque 70% des gaz à effet de serre sont d'origine énergétique.
- **Objectif 2** : Accélérer et amplifier les rénovations énergétiques du bâti (42% des consommations d'énergie), en recherchant systématiquement la sobriété et la performance énergétiques.
- **Objectif 3** : Rechercher l'efficacité énergétique des entreprises et accompagner l'économie verte, un levier essentiel de développement et d'attractivité.
- **Objectif 4** : Développer les énergies renouvelables pour diversifier le mix énergétique en développant leur production et leur stockage.
- **Objectif 5** : Optimiser et adapter les réseaux de transport d'énergie (électricité, gaz, chaleur, froid), en misant sur l'innovation et les complémentarités entre les réseaux.



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.

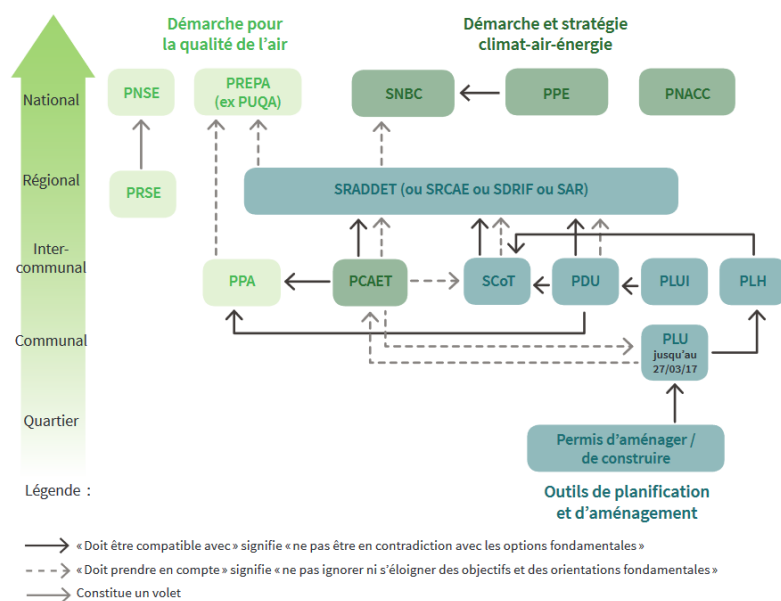


Figure 5 : Articulation juridique des documents de planification

Le permis de construire/d'aménager doit être compatible avec le PLU ou PLUi lequel devant prendre en compte le PCAET ou à défaut les documents de planification supérieurs. Le PCAET doit lui-même être compatible avec le SRADDET.

○ Contexte réglementaire

Le respect des engagements pris dans la lutte contre le changement climatique, récemment réaffirmés dans la loi Energie Climat, suppose que la France atteigne la neutralité carbone en 2050. L'un des principaux leviers est d'agir sur les émissions des bâtiments, du secteur résidentiel comme du secteur tertiaire, qui représentent un quart des émissions nationales de gaz à effet de serre. Dans ce cadre, les priorités de la future Réglementation environnementale sont de :

- Diminuer l'impact sur le climat des bâtiments neufs en prenant en compte l'ensemble des émissions du bâtiment sur son cycle de vie, dès la construction. Cela permettra d'une part d'inciter à des modes constructifs qui émettent peu de gaz à effet de serre ou qui permettent d'en stocker tels que le recours aux matériaux biosourcés. D'autre part, la consommation de sources d'énergie décarbonées sera encouragée, notamment la chaleur renouvelable.
- Poursuivre l'amélioration de la performance énergétique et la baisse des consommations des bâtiments neufs. La réglementation ira au-delà de l'exigence de la réglementation actuelle, en insistant en particulier sur la performance de l'isolation quel que soit le mode de chauffage installé, grâce au renforcement de l'indicateur « de besoin bioclimatique » (dit « Bbio »).

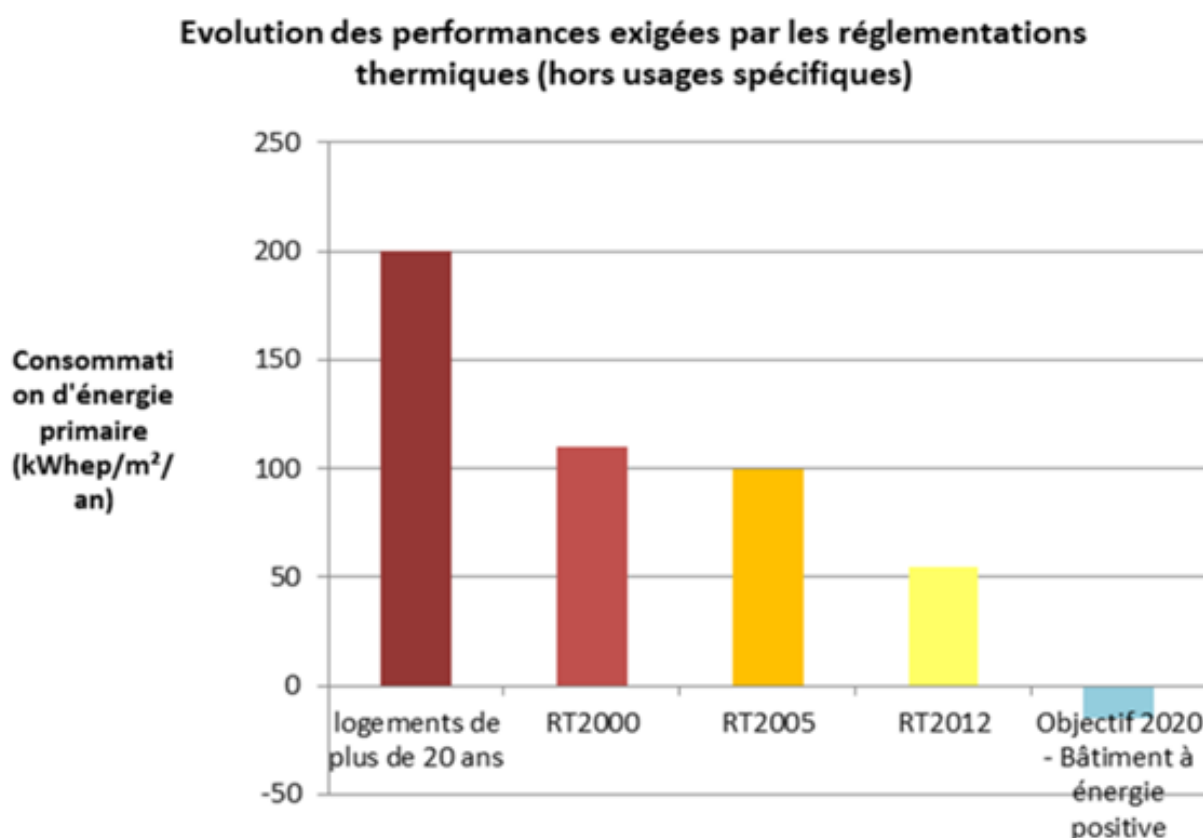


Figure 6 : Graphique de l'évolution des performances exigées par les réglementations thermiques

- Garantir aux habitants que leur logement sera adapté aux conditions climatiques futures en introduisant un objectif de confort en été. Les bâtiments devront mieux résister aux épisodes de canicule, qui seront plus fréquents et intenses du fait du changement climatique.

○ Contexte local

La Bretagne connaît une situation particulière relative à l'énergie :

- Une situation péninsulaire :

La situation géographique de la Bretagne, excentrée, engendre **une fragilité de l'alimentation électrique lors des pics de consommation**. L'augmentation forte des pointes de consommation, en période hivernale (+ 14% depuis 2003), fragilise d'autant plus la région. Cette situation place désormais la Bretagne devant un risque généralisé de blackout.

- Une faible production électrique : 13% de sa consommation
- Une forte croissance démographique et un dynamisme économique qui augmentent les besoins en proportion plus importante, malgré une situation actuellement moins énergivore que le reste du territoire français.

La région rencontre donc des difficultés récurrentes et de plus en plus importantes pour répondre aux besoins en électricité des territoires. Elle est par ailleurs très dépendante des territoires limitrophes producteurs d'électricité (Régions Basse-Normandie et Pays de la Loire notamment).

- **La politique énergie climat du territoire breton**

- **Le Schéma Régional Climat Air Energie Breton**

Le Schéma Régional Climat Air Energie Breton a été arrêté par le Préfet de région le 4 novembre 2013, après approbation par le Conseil régional lors de sa session des 17 et 18 octobre 2013. Le SRCAE définit aux horizons 2020 et 2050 les grandes orientations et les objectifs régionaux pour maîtriser la demande en énergie, réduire les émissions de gaz à effet de serre, améliorer la qualité de l'air, développer les énergies renouvelables et s'adapter au changement climatique.

- **Le plan éco énergie pour la Bretagne**

Ce programme d'actions conjointes mis en œuvre par l'Etat, l'ADEME et la Région Bretagne, s'articule autour de trois missions majeures :

- **Maîtriser la consommation d'énergie et développer les énergies renouvelables dans la perspective de la mise en œuvre d'un plan climat régional,**
- Créer une dynamique d'éco-responsabilité au niveau de la production et de la consommation d'énergie,
- Améliorer les connaissances et en favoriser la communication, l'information et la diffusion.

Plus d'informations : <http://www.plan-eco-energie-bretagne.fr>

- **La pacte électrique Breton**

Co-signé le 14 décembre 2010 par l'État, la Région Bretagne, l'ADEME, RTE et l'ANAH (Agence nationale de l'habitat), le Pacte électrique breton a pour objectif de sécuriser l'avenir électrique de la Bretagne en proposant des réponses autour des 3 grands axes suivants :

- **La maîtrise de la demande en électricité**

L'objectif est de diviser par 3 la progression de la demande en électricité d'ici 2020 en poursuivant la sensibilisation du grand public, soutenant l'animation des politiques énergétiques sur les territoires, en renforçant les dispositifs de rénovation thermique des logements, etc.

- Le **déploiement massif de toutes les énergies renouvelables**

L'objectif est de **multiplier par 4 la puissance électrique renouvelable installée d'ici 2020**, soit 3 600 MW.

- La **sécurisation de l'approvisionnement**

Grâce à un **réseau de transport de l'électricité renforcé**, à l'implantation d'une unité de production électrique à l'ouest de la Bretagne, et à **l'intensification de l'expérimentation des réseaux électriques intelligents** et du stockage de l'énergie.

Plus d'informations : http://www.plan-eco-energie-bretagne.fr/jcms/c_7683/pacte-electrique-breton

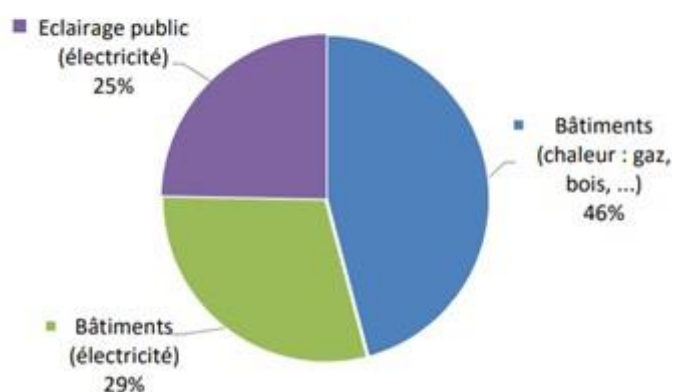
L'ensemble de ces dispositifs montre le dynamisme de la région Bretagne pour réduire sa dépendance énergétique. Tous les nouveaux projets d'aménagement se doivent d'intégrer ces démarches spécifiques dans leurs modalités de mise en œuvre.

- **Portrait énergétique du territoire**

- **Saint-Malo**

Le secteur du bâtiment (tertiaire et résidentiel) représente **un peu moins de la moitié de la consommation d'énergie de la ville de Saint-Malo (46%)** et plus d'1/3 des émissions de gaz à effet de serre (43%).

Répartition de la consommation énergétique
(en MWh / an)



<https://www.ville-saint-malo.fr/medias/2021/03/Rapport-DD-2020.pdf>

- L'aménagement d'un lotissement influe directement sur les deux premiers postes de consommation énergétique et d'émission de GES (Bâtiment, Transport). Les choix retenus sur l'aménagement du projet (exigence sur la performance énergétique des bâtiments, développement des énergies renouvelables, ou développement des alternatives de transport à la voiture individuelle) permettront de limiter ces impacts.

- PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

- Positionnement géographique

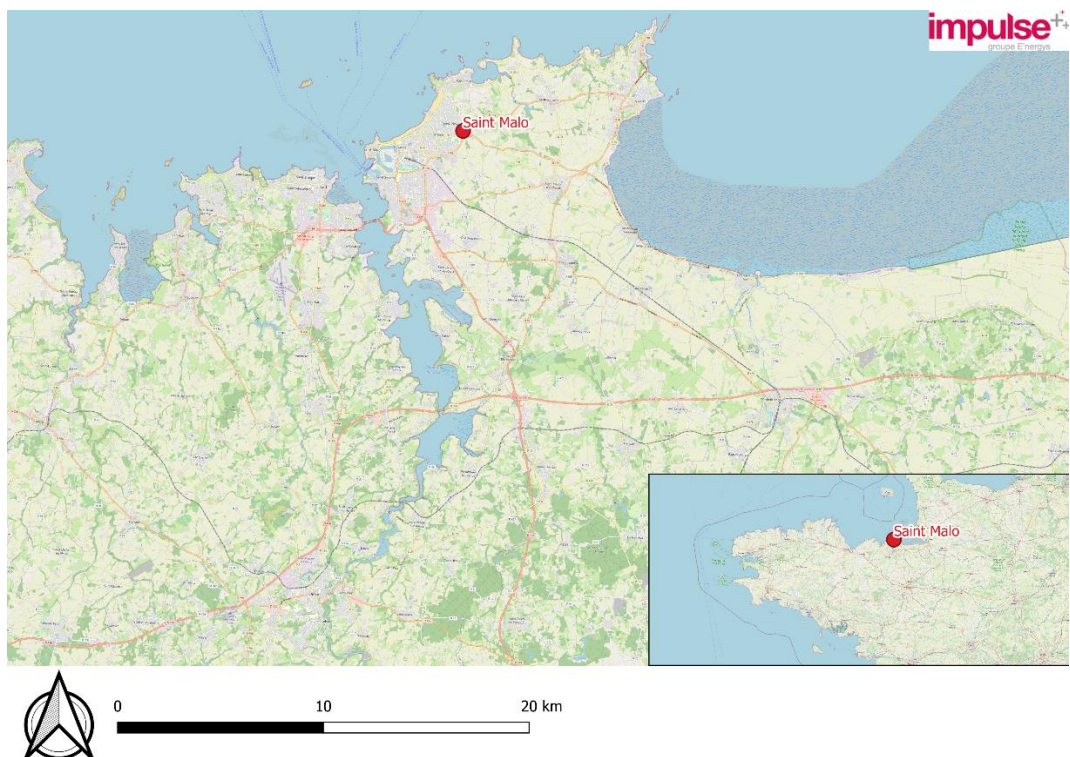


Figure 7 : Localisation du projet

La commune de Saint Malo est située à 70 km au Nord de Rennes.

- Périmètre d'étude

Le périmètre d'étude concerne la création d'un lotissement de 306 logements sur le périmètre suivant :



Figure 8 : Périmètre d'étude

○ **Végétation et bâti existant**



Figure 9 : Vue Aérienne du secteur

Le site et sa périphérie immédiate ne présente pas d'arbres susceptibles de générer des ombres portées.

○ Programmation et schéma d'aménagement étudié

Le projet prévoit la création de 306 logements sur une superficie de 10.9 Ha. La programmation prévisionnelle est la suivante :



TYPE	NOMBRE	SURFACE TOTALE	Part des surface bâties
Équipement	5	720	3%
Logements collectifs	238	19040	71%
Logements individuel	48	4560	17%
Maison individuelle	20	2310	9%
Total général	311	26630	1

- **PHASE 1 : Potentiel de mobilisation des énergies renouvelables**

- **Énergies fossiles/fissibles disponibles**

ENERGIE	ATOUTS/AVANTAGES	CONTRAINTES/INCONVÉNIENTS	COMMENTAIRES IMPULSE
ÉLECTRICITÉ	Disponibilité	Coût élevé Faible rendement global Gestion des déchets nucléaires Tension sur le réseau électrique en hiver Prix volatil sur les marchés	À réserver aux usages spécifiques : éclairage, bureautique, électroménagers
GAZ NATUREL	Ilot desservi Impact environnemental et économique plus limité que le fioul. Existant d'un réseau est un atout pour le développement du biogaz.	Energie fossile à fort impact environnemental	> Dans la suite de l'étude, l'énergie fossile de référence pour évaluer l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables sera donc le gaz naturel.
FIOUL	-	Très fort impact environnemental	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.

Figure 10 : Synthèse des énergies fossiles/fissibles disponibles et mobilisables sur le site

- **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.

- **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
Bois	Chaleur	Granulés	Solution adaptée.
		Plaquettes	Solution adaptée.
		Bûches	Solution adaptée.
Solaire	Chaleur	Panneaux solaires Thermiques	Solution adaptée.
	Électricité	Panneaux solaires Photovoltaïque	Solution adaptée.
Éolien	Électricité	Grand	Obligation réglementaire d'éloignement de plus de 500 m des zones d'habitation des éoliennes de plus de 50 mètres de haut incompatible en site urbain.
		Petit et micro	Il est préférable d'être sur un site dégagé avec des vents majoritairement unidirectionnels. Le potentiel est donc limité en milieu urbain et nécessite des études précises.
Hydraulique	Électricité	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/ Électricité		Solution non adaptée dans le cadre d'un aménagement de logements.
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

- **L'énergie solaire**

- **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 et éclairage ;
- Panneaux solaires thermiques pour la production d'eau chaude sanitaire (ou process) et de chauffage ;
- Panneaux solaires photovoltaïques pour la production d'électricité.

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

- **Gisement**

La carte suivante présente l'insolation annuelle en Bretagne :

impulse+
groupe Energie

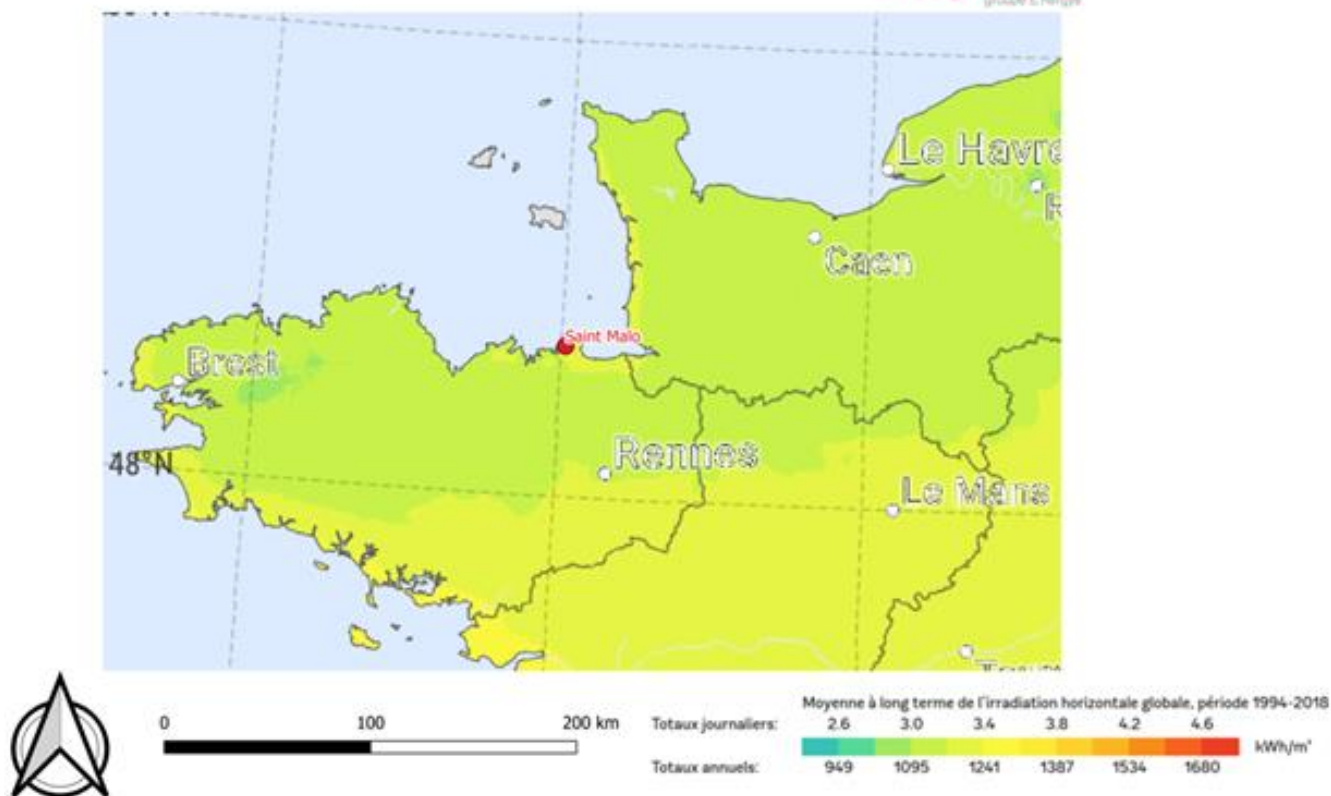


Figure 11 : Isolation annuelle de la Bretagne (Source Bretagne Environnement)

→ L'insolation annuelle de la commune de SAINT MALO est comprise entre **1 100 et 1 300 heures**. L'énergie reçue est d'environ **1 000 kWh/m²/an**.

- **Sur le site**

Les ombres portées générées devront être prises en compte.

- **Prédisposition 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**.

À 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)

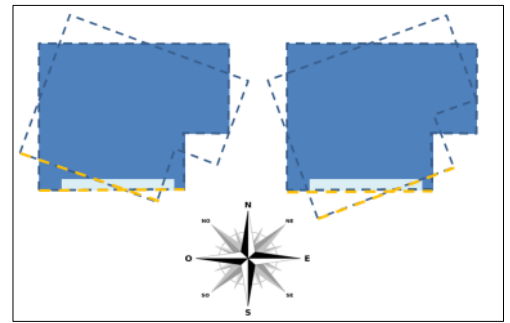


Figure 12 : Orientation optimale des façades principales : Sud +/- 20°

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



Éviter les masques et les ombres portées

Échelle	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/process thermique	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 13 : Préconisation pour l'optimisation des apports solaires

• 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 nécessite de la manutention.

Le traitement des fumées : il est nécessaire de mettre en œuvre des équipements respectant les normes d'émission (30mg/Nm³ pour les installations à granulés). Les installations plus importantes (ICPE 2910A : installation > 1MW) devront disposer d'équipements spécifiques (électrofiltres, multi cyclones, filtres à manches ...) 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.**

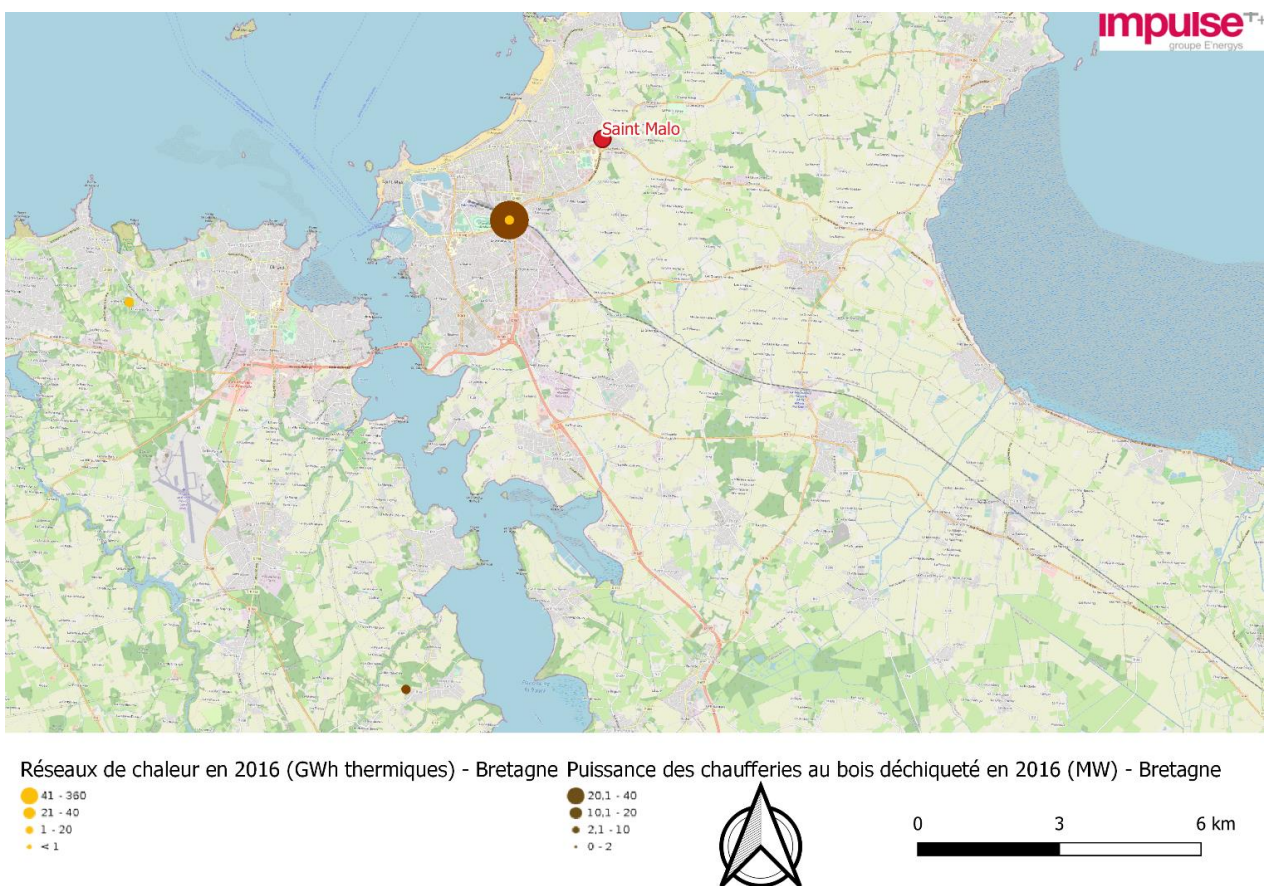


Figure 14 : Carte des chaufferies bois déchiqueté à proximité de Saint-Malo
(Source : geobretagne.fr)

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

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 l'entretien des haies bocagères.

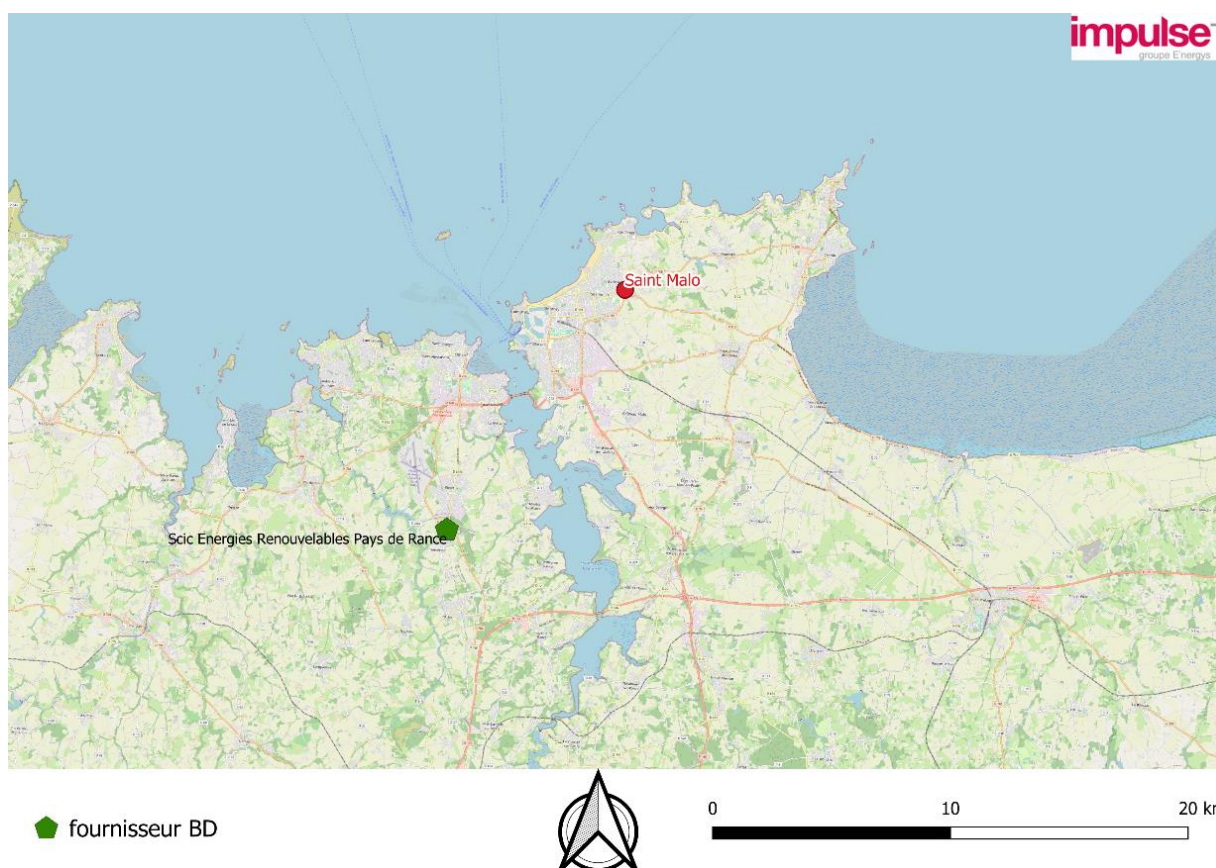


Figure 15 : Carte des fournisseurs de bois déchiqueté à proximité de SAINT-MALO source : Plan Bois Bretagne

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).

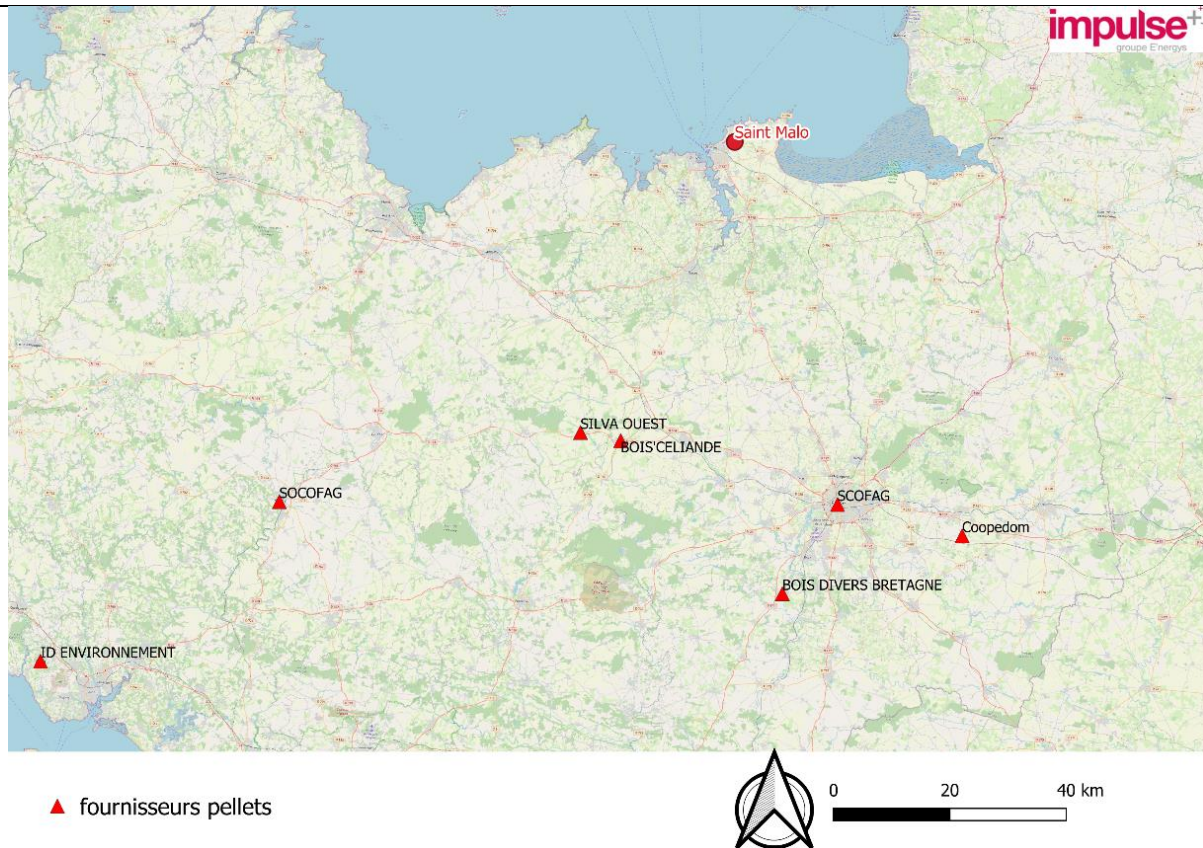


Figure 16 : Carte des fournisseurs de granulés de bois en vrac à proximité de SAINT-MALO source : Plan Bois Bretagne

- **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.
 - **L'énergie éolienne (production d'électricité)**

- **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.

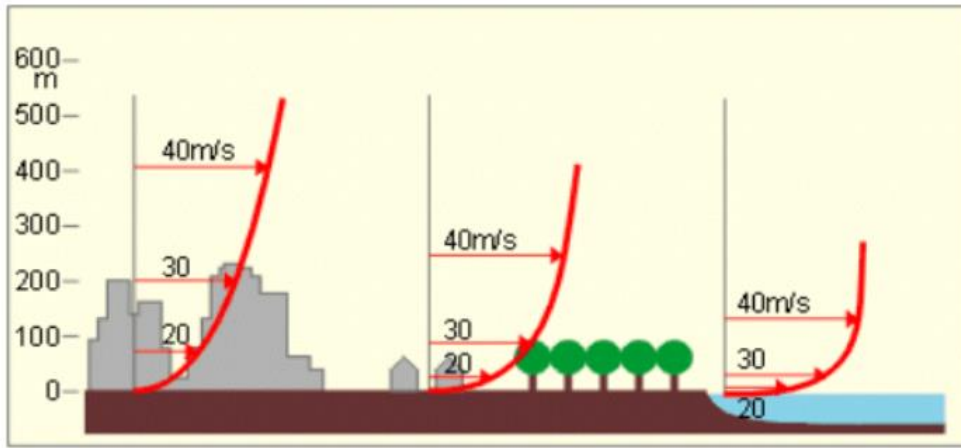


Figure 3: Évolution de la vitesse du vent en fonction de l'altitude et de la rugosité du terrain

-

Gisement

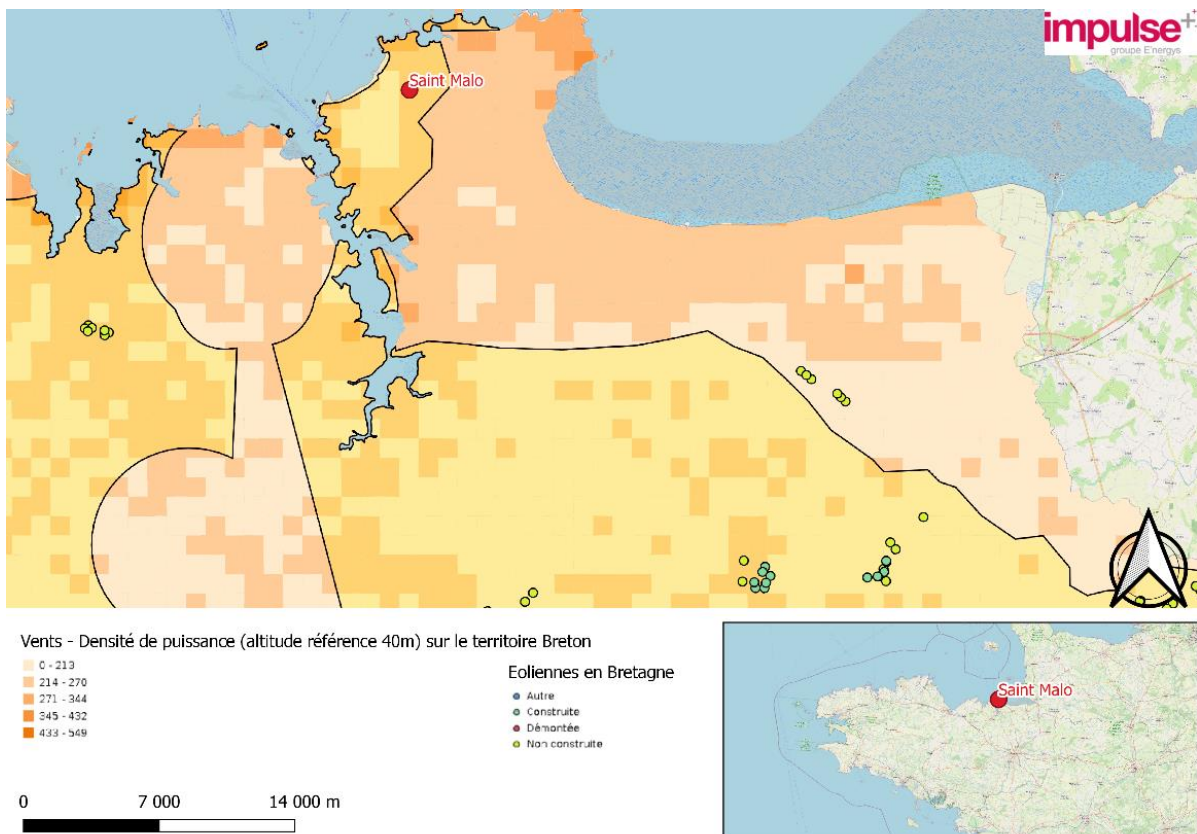


Figure 18 : Schéma régional éolien (source : geobretagne.fr)

- **Petit Eolien**

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

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

- Les éoliennes à axe vertical
- Les éoliennes à axe horizontal.

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

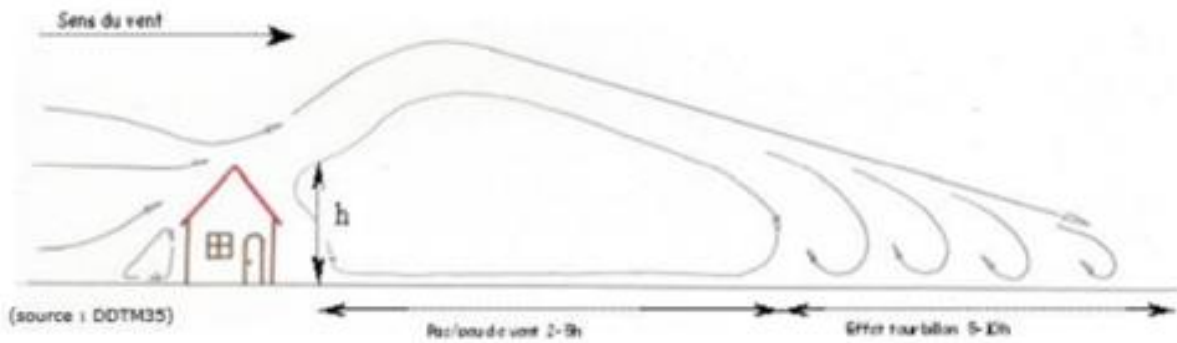


Figure 19 : Turbulences générées par une construction (source DDTM 35)

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

Hauteur Des éoliennes	Distance aux habitations
$12 < HT < 20$	40m
$20 < HT < 30$	$HT \times 5$
$30 < HT < 45$	$HT \times 6$
$HT > 45$	$HT \times 10$

Figure 20 : Eloignement aux habitations en fonction de la hauteur (source DDTM 35)

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

Figure 21 : Procédures en fonction de la hauteur (source DDTM 35)

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

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

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

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

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

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

- **Grand éolien**

L'obligation réglementaire d'éloignement de plus de 500 m des zones d'habitation des éoliennes de plus de 50 mètres de haut réduisent à néant le potentiel de développement du grand éolien sur ces sites qui ont vocation à accueillir des habitations. La zone est par ailleurs située dans une zone d'exclusion (radar de l'aéroport et de la base navale).

- **Potentiel de production dans le projet**

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

- **Préconisation**

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

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

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

- **La géothermie (production de chaleur et d'électricité)**

- **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).

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.

- **Gisement**

La carte suivante présente une estimation des ressources géothermiques de l'Ouest de la France :

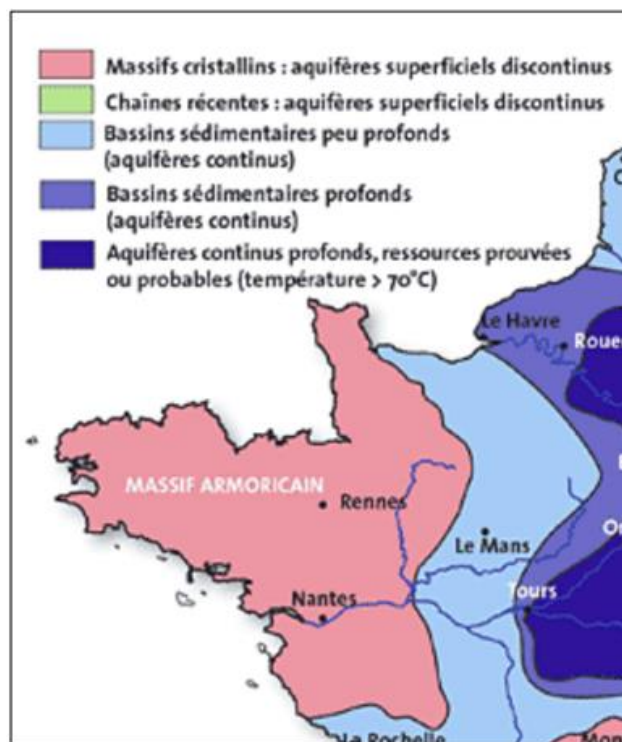


Figure 22 : Extrait carte des ressources géothermiques en France (source BRGM)

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 sont recensés à proximité des secteurs. Cependant, ces forages ne sont pas documentés.

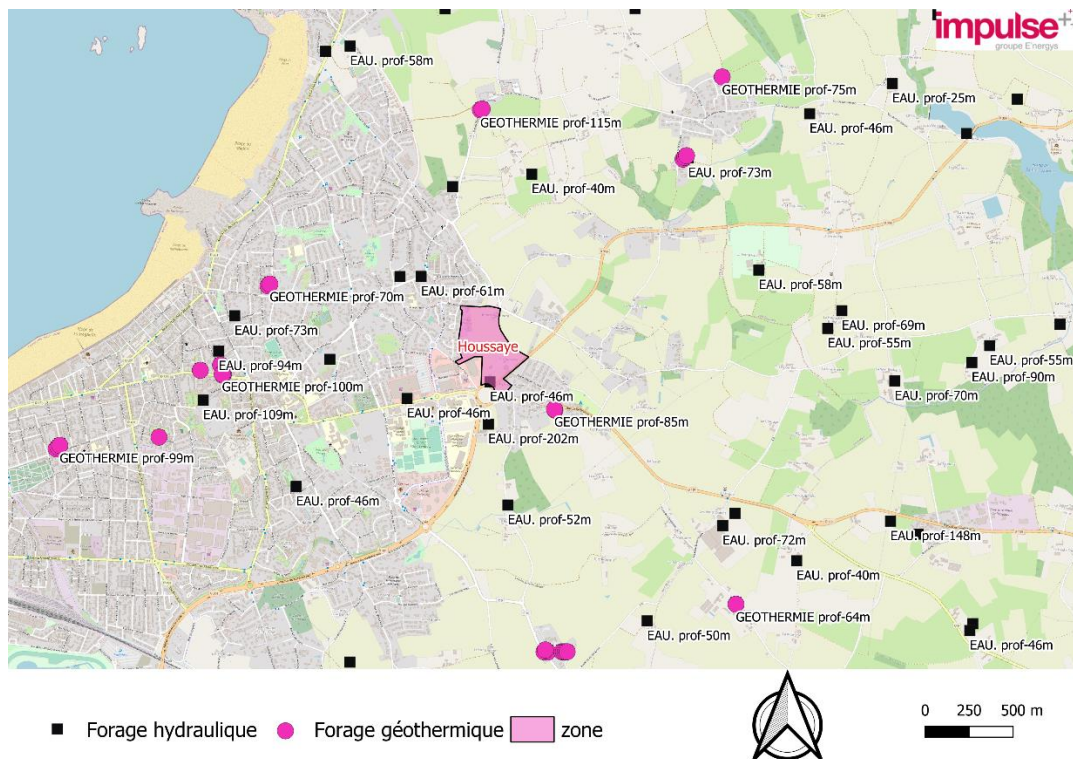


Figure 23 : Forages à proximité du projet (source BRGM)

- **Potentiel de production dans le 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.

- **Préconisations**

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

- Les logements doivent être équipés d'un circuit hydraulique en régime basse température (plancher chauffant, radiateurs basse température...).
- Risque de débits faibles ou variables de la nappe d'eau (performance non garantie dans le temps)
- Contraintes de maintenance
- Coûts de forages élevés à l'unité (environ 30 000 €HT par doublet)

-
- Incidence en termes de bulle thermique à prendre en compte, afin d'éviter les recirculations d'eau souterraines entre forage de réinjection et forage de pompage, qui devient d'autant plus pénalisante, que l'on augmente le nombre de forages.

- **La récupération d'énergie sur les eaux usées**

- **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
Échangeur de chaleur sur l'eau des douches	Facilité de mise en œuvre et très faible entretien	Investissement significatif (3000 euros/douche) Entretien de l'échangeur	Potentiel de puissance environ 30% de la puissance de production d'ECS
Bâtiments	Solution simple pour l'eau chaude sanitaire des bâtiments de taille significative (hôtel, hôpital, piscine, industrie)	Cout d'un réseau distinct pour les eaux grises. Surcout d'un calorifugeage.	Potentiel de puissance entre 50 kW et 300 kW
Collecteurs	Proximité des preneurs de chaleur Utilise des technologies maîtrisées (échangeurs de chaleurs, pompe à chaleur)	Investissement important. Entretien important (nettoyage échangeur) Peu de retours d'expérience. Possibles effets de l'abaissement de T° sur le process de la STEP. Longueur de canalisation et débit suffisants. Potentiel à étudier finement Vigilance sur le montage juridique notamment les relations entre 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 24 : Avantages et inconvénients des différents systèmes de récupération d'énergie sur les eaux usées

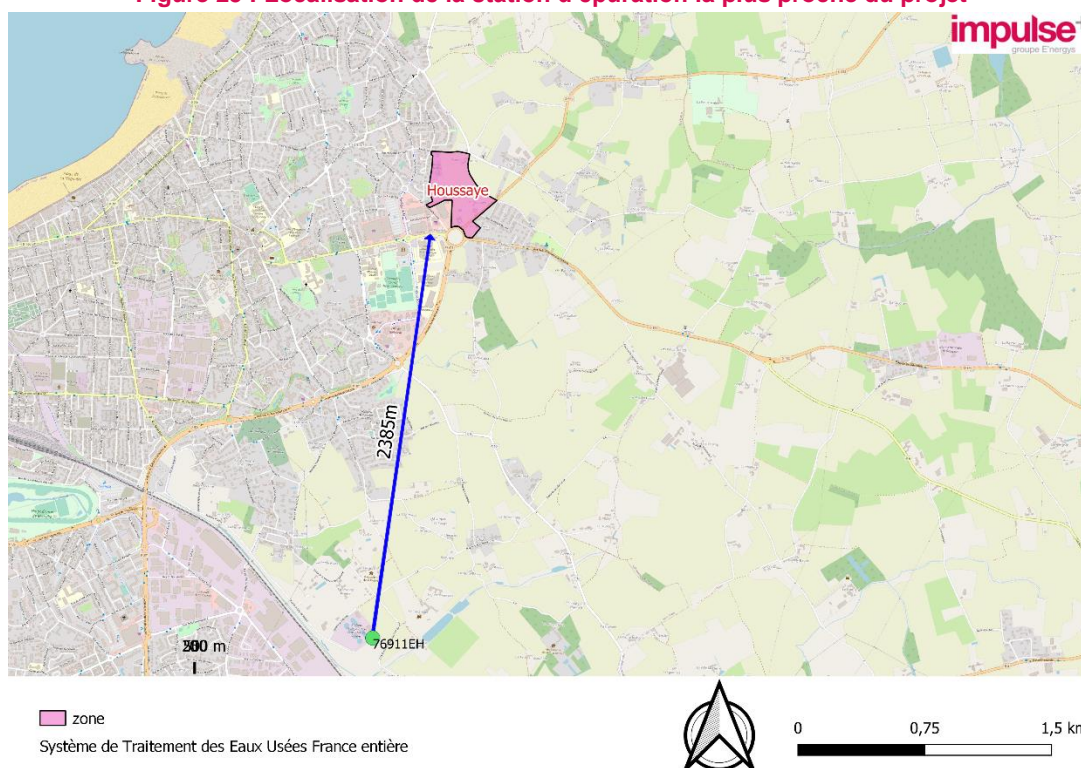
Exemple de réalisation :

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

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 25 : Localisation de la station d'épuration la plus proche du projet



La STEP la plus proche est trop éloignée et sa capacité insuffisante pour envisager un tel projet

> 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.

Potentiel de production dans le projet

À 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 besoins d'eau chaude sanitaire pour les douches (y compris collectives).

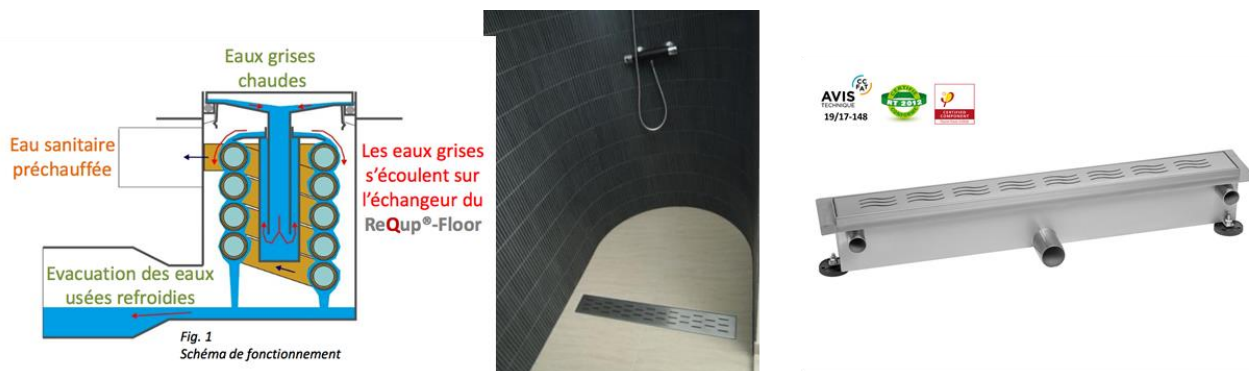


Figure 25 : Système RecupFloor® de Gaïa Green sous avis technique CSTB

Innovations liées à la production d'électricité

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 :

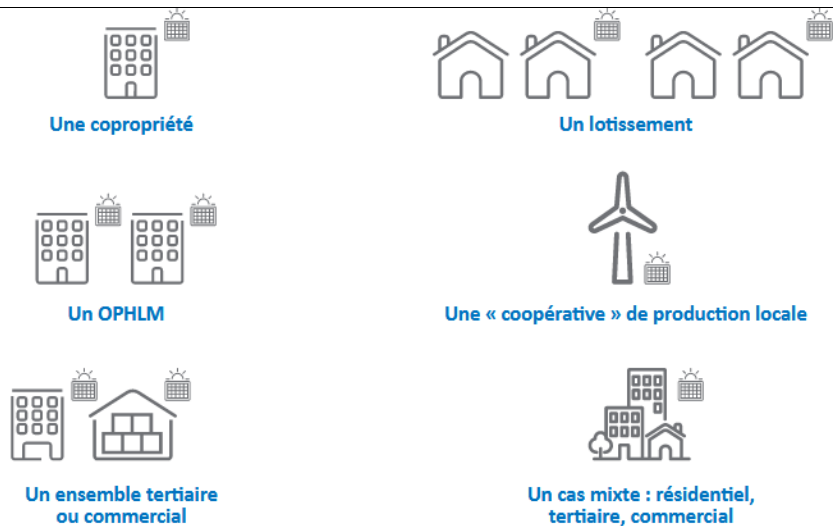


Figure 26 : Formes d'autoconsommation collective (Source : Enedis)

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

- **Les smartgrids**

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 une smartgrid.

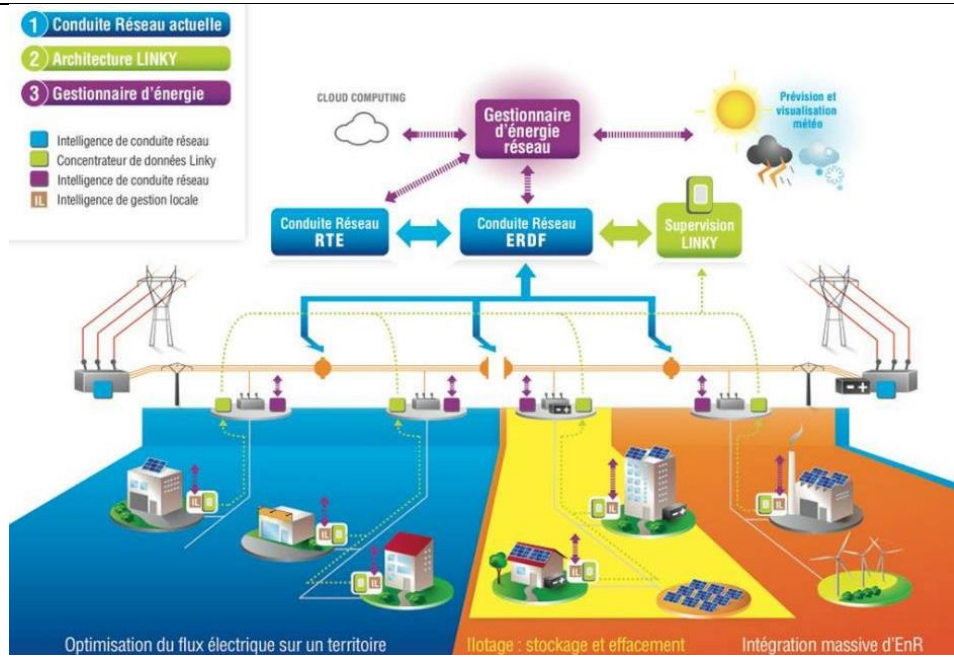


Figure 4: Illustration Smart Grid (Source : www.enerzine.com)

- Synthèse des énergies renouvelables mobilisables sur site

Energie	Potentiel sur site	Conditions de mobilisation	Atout/avantages	Contraintes/inconvénients	Avis Impulse et pertinence sur le projet
Bois	+++	Prévoir stockage et approvisionnement Filière bois énergie régionale structurée	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 brise-soleil (étude approfondie à	Performante, la technologie du solaire thermique a atteint sa maturité. Le matériel est	Conflit d'usage des toitures (occupation de surface	Solution adaptée pour les logements collectifs.

		<p>réaliser). Orientation sud des toitures ou toits terrasses.</p> <p>Réaliser un modèle 3D pour évaluer précisément l'ensoleillement et notamment les ombres portées des bâtiments.</p>	<p>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.</p> <p>Adapté pour le logement</p>	<p>importante par les panneaux solaires)</p>	
Solaire photovoltaïque	+++	<p>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</p>	<p>Photovoltaïque : peut favoriser une intégration au bâti et au milieu urbain (verrières, façade, mobilier urbain, ...)</p>	<p>Le coût peut être élevé pour le photovoltaïque.</p>	<p>Solution adaptée :</p> <ul style="list-style-type: none"> > Peut couvrir une partie des consommations. > compatible avec une smartgrid.
Géothermie très basse température	++	<p>La réalisation d'un forage test et d'une étude de faisabilité est indispensable pour confirmer le potentiel et déterminer les modalités d'exploitation.</p>	<p>Amélioration de l'efficacité d'un chauffage électrique</p> <p>Utilisation d'une part d'énergie gratuite provenant d'une source chaude (sol, eau)</p>	<p>Appel de puissance électrique en hiver</p> <p>Impact sur l'effet de serre du fluide frigorigène.</p>	<p>Solution théoriquement envisageable après étude de faisabilité + réalisation de forages tests.</p>
Aérothermie	+++		<p>Amélioration de l'efficacité d'un chauffage électrique</p> <p>Utilisation d'une part d'énergie gratuite provenant d'une source chaude (Air)</p>	<p>COP moyen annuel faible</p> <p>Appel de puissance électrique en hiver</p> <p>Nuisances sonores</p> <p>Impact sur l'effet de serre du fluide frigorigène</p>	<p>Solution possible et adaptée.</p> <p>Système pouvant engendrer des appels de puissance sur le réseau et des nuisances sonores.</p>

Chaleur fatale des eaux usées en pieds d'immeuble	+++	-Bâtiment de taille significative + évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux 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 peu rependue (onéreuse) plutôt adaptée à des bâtiments de logements collectifs avec production de chaleur collective.
Chaleur fatale en pied de douche	+++		Energie de récupération Ressource disponible toute l'année Système simple	-Investissement relativement important	Adaptée à tout type de logements
Chaleur fatale eaux usée (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	
Petit éolien	+	Etude précise des vents à réaliser en phase réalisation et après la construction des bâtiments	Energie renouvelable et gratuite Plusieurs formes de technologies existent et peuvent facilement s'intégrer au paysage urbain	Productivité faible Nuisance sonores potentielles « Effet d'abris » du milieu urbain qui limite la productibilité	Solution nécessitant une étude de vent précise et moins recommandée en site urbain.

 Envisageable

 Réalisable sous conditions

 Non adapté

• PHASE 2 : DETERMINATION DES IMPACTS ENERGIE/CLIMATS LIES AU BATIMENTS

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

○ 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**

▪ 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.

▪ **Cas particulier de l'électricité domestique :**

Le calcul réglementaire des consommations énergétiques (RE2020) 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 bâtiments très performant.

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

- Lave-linge
- Sèche-linge
- Lave-vaisselle
- Froid
- Eclairage
- Audio-visuel
- Informatique/Télécom
- Circulateurs et Communs
- Ventilation
- Nettoyage et Bricolage
- Cuisson
- Parties communes

○ **Estimations des impacts énergie/carbone en fin d'opération**

▪ **Définition des niveaux de performance énergétique par typologie de bâtiment**

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

- **RE2020** : niveau minimal réglementaire depuis janvier 2021 pour tous les logements
- **Passif** : Label attribué à des opérations dont les besoins de chauffages sont inférieurs à 15kWh/m² selon le monde de calcul spécifique au label (PHPP). Ce niveau est reconnu comme référence de sobriété énergétique de l'enveloppe. Il dépasse les objectifs règlementaires en matière **de besoins de chauffage**. Les consommations pour les autres poste (ECS, éclairage, électricité domestique sont identique au scénario précédent).

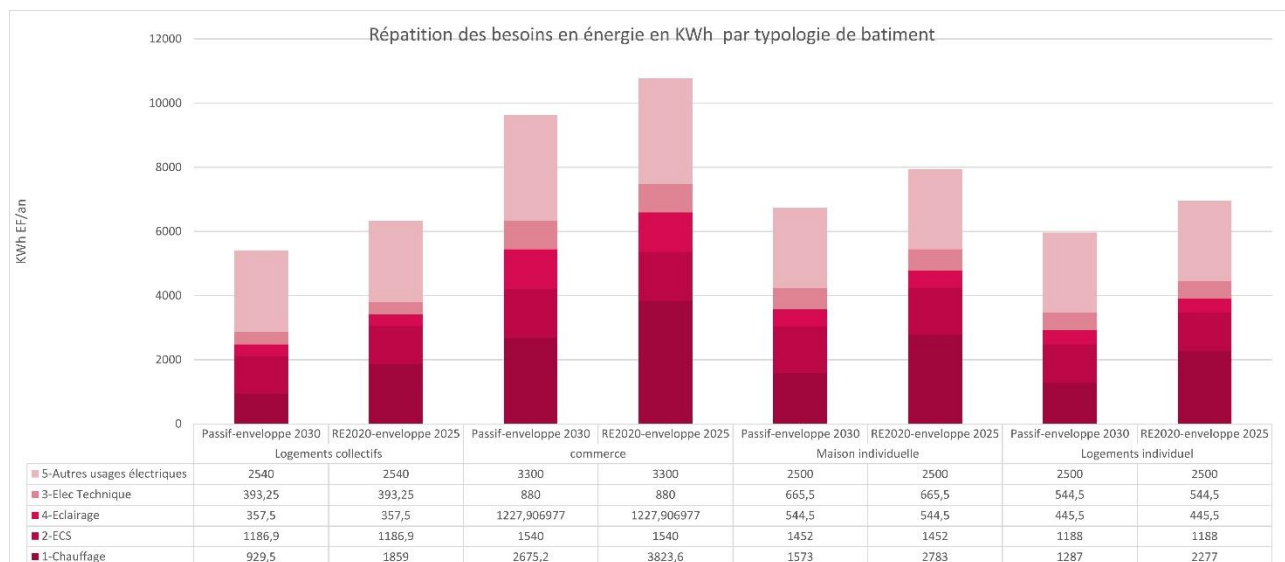


Figure 28 : Répartition des besoins en énergie par typologie de bâtiments

- **Niveaux d'impact carbone des produits de construction**

Dans un bâtiment sobre en énergie, l'impact sur le climat de la consommation d'énergie du bâtiment est du même ordre que l'impact climatique liée au cycle de vie des matériaux de construction. Ainsi, la RE2020 vise à progressivement réduire l'impact carbone liée aux produits de construction mis en œuvre notamment via l'indicateur IC composant. Afin de laisser le temps à la filière de s'adapter aux nouveaux matériaux et techniques de mise en œuvre, différents seuils ont été fixé pour différent échéances. Nous avons considéré dans cette étude le seuil 2022 et le seuil 2030.

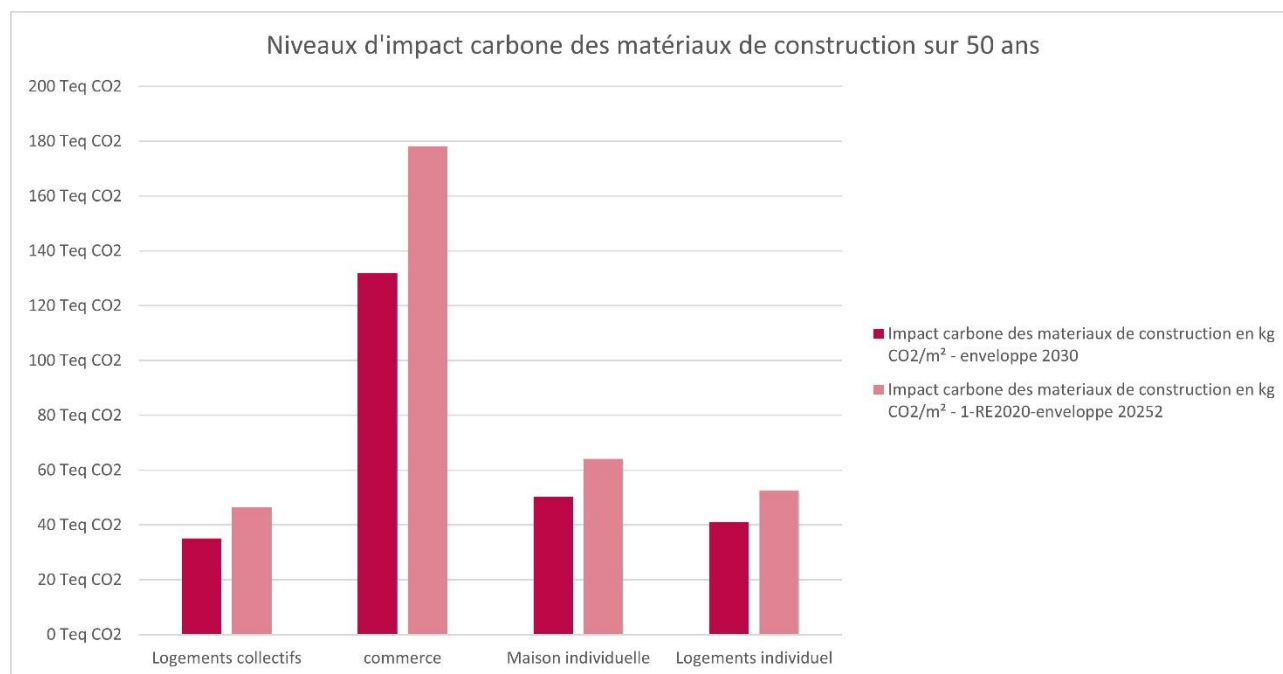


Figure 29 : Niveaux d'impact carbone des matériaux de construction sur 50 ans

- **Programmation :**

Nous considérons la programmation suivante :

TYPE	NOMBRE	SURFACE TOTALE	Part des surface bâties
Équipement	5	720	3%
Logements collectifs	238	19040	71%
Logements individuel	48	4560	17%
Maison individuelle	20	2310	9%
Total général	311	26630	1

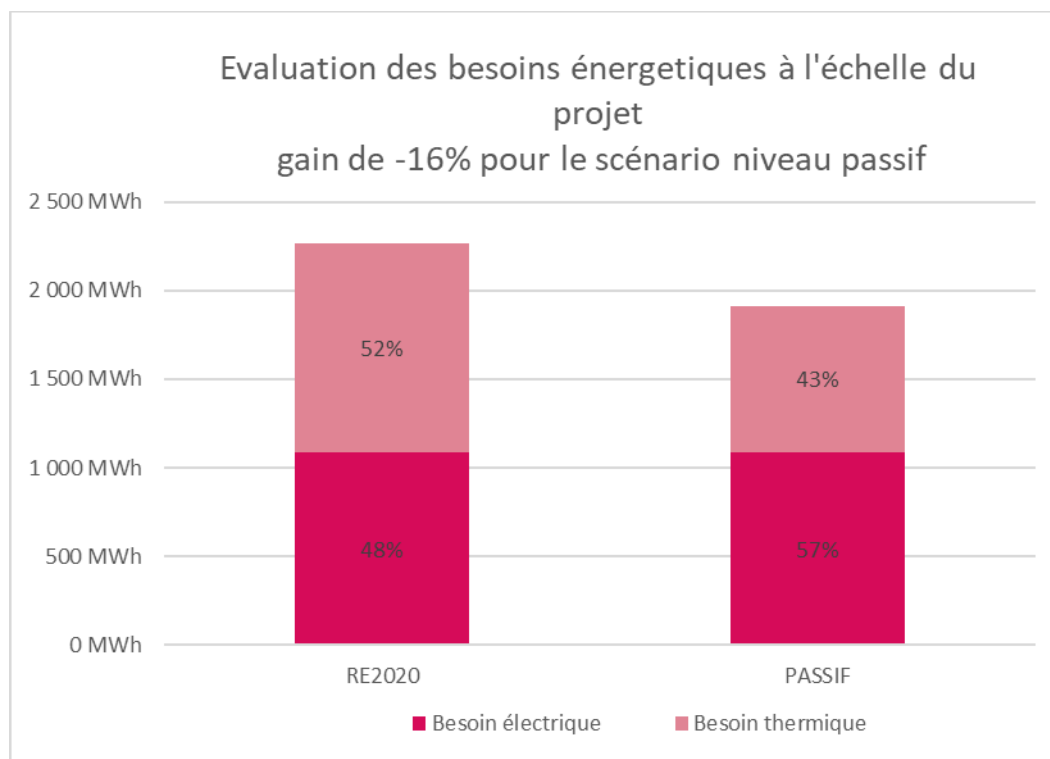
- **Calcul des besoins énergétiques de l'ilot en fin d'opération**

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

Le niveau passif permet de réduire de -16% les besoins grâce à une diminution des besoins de chauffage et d'électricité technique, domestique e des parties communes.

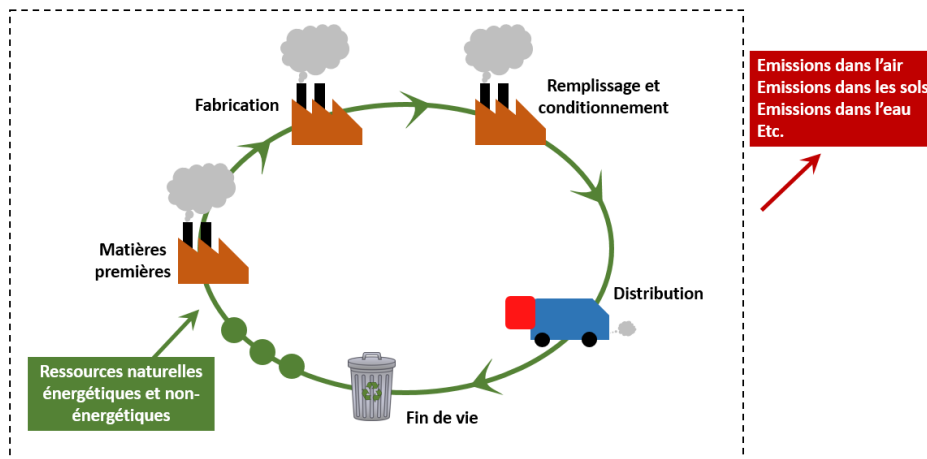
- En RE2020, les besoins électriques sont presque équivalents aux besoins thermiques.
- En passif, les besoins électriques sont supérieurs aux besoins thermiques.
- Les réglementations thermiques ont permis d'améliorer la conception énergétique des bâtiments. Les besoins en électricité sont du même ordre que les besoins thermiques.



○ Calcul des émissions de GES liées aux matériaux en fin d'opération

La construction des bâtiments génère des émissions de GES à la fois pour la fabrication des matériaux et leur acheminement que pour la consommation de carburants sur le chantier. Le parallèle peut être fait avec "l'énergie grise" du bâtiment. Les émissions équivalentes de Gaz à Effet de Serres (GES) intègre l'ensemble de la vie du bâtiment, de l'extraction des matières premières à la fin de vie des matériaux. Nous intégrons également les émissions de GES liées à la consommation d'énergie des bâtiments en fonction du scénario énergétiques.

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



L'impact carbone des matériaux de construction est estimé à partir des niveaux réglementaires de la RE2020 et de retours d'expérience.

Le graphique ci-dessus met en évidence le poids de l'impact carbone des matériaux de construction (Ic composant) dans le bilan global d'un bâtiment bien isolé (RE2020 et passif) ce qui justifie des objectifs progressifs basés sur leur impact plutôt que sur la réduction des consommations énergétiques. Le seuil 2030 de la RE2020 permet un gain de 24,5% par rapport au seuil 2025.

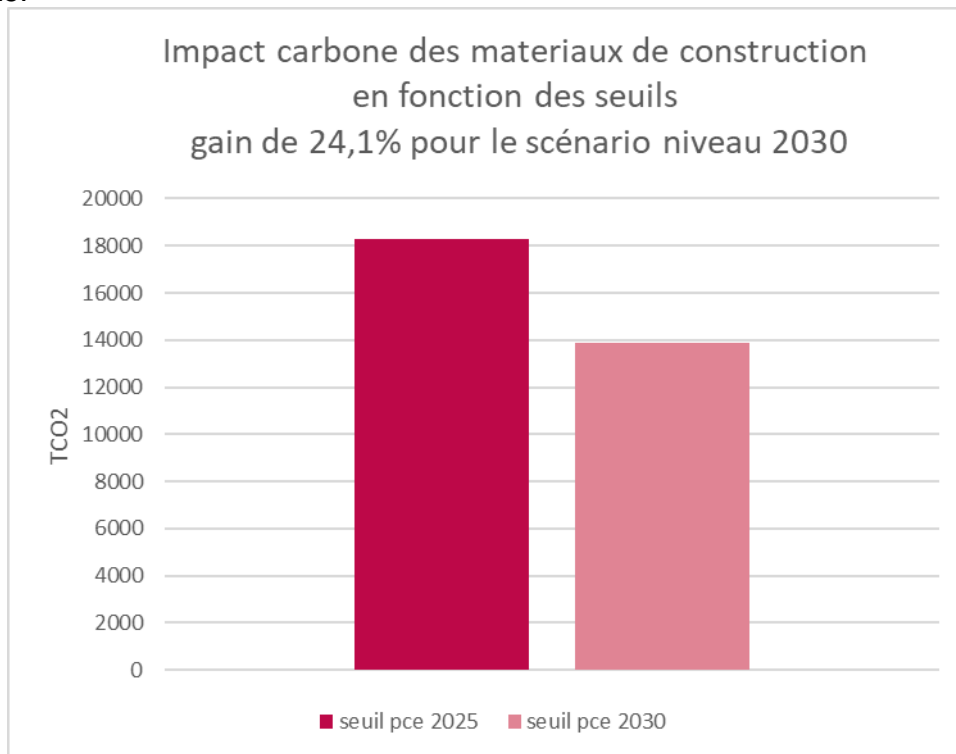


Figure 31 : Comparaison des émissions de CO₂ liées aux matériaux de construction en fonction du niveau de performance visé

Les matériaux de construction à faible empreinte carbone ou biosourcés pourraient être privilégiés. Cela implique la mise en place de prescriptions particulières dans le Cahier de Prescriptions Architecturales, Paysagères et Environnementales. La provenance des matériaux peut également être un critère avec l'objectif de privilégier des matériaux locaux (nécessitant un moindre transport) ou d'éviter la déforestation des forêts primaires.

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

Figure 32 : Évaluation des besoins énergétiques à l'échelle du projet par scénario de performance énergétique

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

• PHASE 3 : TAUX DE COUVERTURE DES BESOINS DE LA ZONE PAR LES ENR

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

○ Production d'électricité par micro-éoliennes

Ordre de grandeur :

En site urbain, la mise en place d'une petite éolienne de 3 kW permet de produire environ 2 250 kWh/an.

En zone construite, il est préférable de positionner des petites éoliennes en toiture pour minimiser les turbulences liées aux constructions.

Nous considérons que la pose d'une éolienne ne sera effectuée que sur les lots de logements collectifs.

Compte tenu de la configuration du projet, on considère qu'il serait possible d'en implanter 18 à l'échelle de l'ilot, soit une production annuelle potentielle de 41 000 kWh.

○ 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 10% de la surface de toiture peut être exploitée pour installer des panneaux photovoltaïques. En effets, certains éléments techniques (désenfumage, ventilation ...) en toitures réduisent la surface exploitable. Par ailleurs, les dimensions des panneaux ne permettent pas une adaptation parfaite à la toiture.

La surface exploitable en toiture est ainsi estimée à 5900 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 :

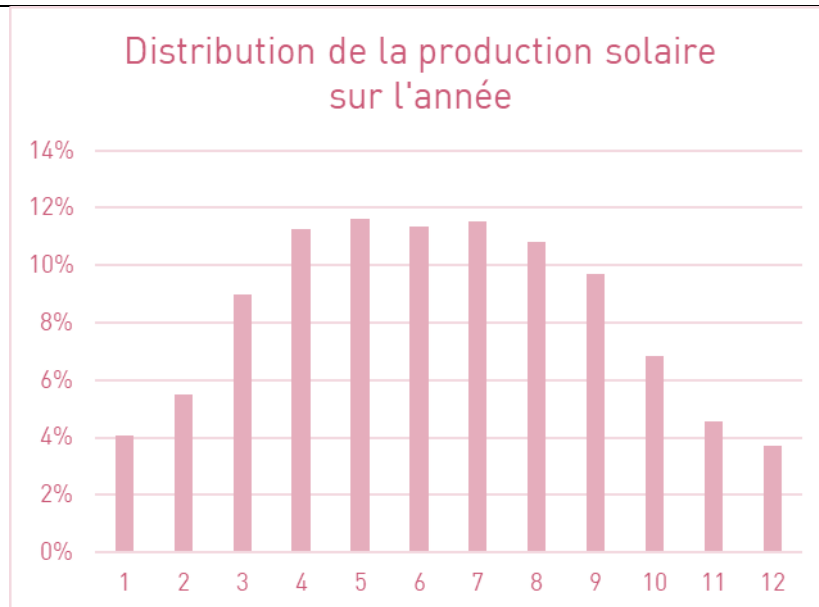
	Photovoltaïque	Thermique
Productible en kWh/m ² .an orientation sud/inclinaison 30°	140	1185

La production photovoltaïque (maximale théorique en toiture) est estimée à 824 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%.

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

○ 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.

○ 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.

○ Production de chaleur par Bois énergie

Suivant la technologie utilisée (pellet/granulé) 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).

○ Synthèse

Le tableau suivant présente les taux de couverture atteignables par les ENR étudiées pour les niveaux RE2020 et passif :

ENR		Taux de couverture moyen par les EnR RE2020 base				Taux de couverture moyen par les EnR niveau isolation passif			
Technologie	Caractéristiques	Productible MWh/an	Chaleur	Electricité	Total Energie	Productible	Chaleur	Electricité	Total Energie
Panneaux Solaire thermique	Inclinaison 30° Orientation: S-E	266	23%	0%	12%	266	32%	0%	14%
Panneau Solaire photovoltaïque	Inclinaison 30° Orientation: S-E	824	0%	76%	36%	824	0%	76%	43%
Chaufferie bois granulés		1176	100%	0%	52%	824	100%	0%	43%
Chaufferie bois plaquette		1176	100%	0%	52%	659	100%	0%	43%
PAC géothermique	COP 3,5	835	71%	0%	37%	585	71%	0%	31%
PAC eau	COP 2.7	741	63%	0%	33%	519	74%	0%	32%
Micro éolien	P:3KW N:18	41	0%	4%	2%	41	0%	4%	2%

- ➔ Aucune source d'énergie renouvelable ne permet à elle seule de couvrir la consommation totale d'énergie des bâtiments. La création d'un quartier à énergie positive au sens [énergie consommée < énergie produite] ne pourra donc se faire qu'à partir d'un mixte énergétique ou en réduisant de manière drastique les consommations du quartier.
- ➔ Les productions solaires et photovoltaïques considèrent que tous les capteurs sont orientés Sud avec une inclinaison de 30° ce qui ne sera probablement pas le cas à l'échelle du projet en fonction du découpage parcellaire et de l'implantation des maisons.
- ➔ Le bilan **annuel** de la production photovoltaïque est de 76 %. Cependant, il s'agit d'un bilan production/consommation annuel (voir prospective → production locale d'électricité). La production solaire est inégalement répartie sur l'année (plus forte production en été qu'en hiver).

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

- **PHASE 4 : ETUDE DE L'IMPACT DE LA MOBILISATION DES ENERGIES RENEUVELABLES**

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

Nous avons donc étudié 4 scénarios, pour chaque scénario de performance énergétique.

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

Le tableau suivant décrit les scénarios étudiés :

	Chauffage	Production d'ECS	Remarque
S1 : Hybride (GAZ + PAC)	Gaz naturel + PAC Aérothermique	Gaz naturel + PAC Aérothermique	La PAC couvre 75% des besoins énergétiques. L'investissement en maison individuel est similaire à la solution 100% PAC
S2 : Bois granulés	Bois	Bois (collectifs) Thermodynamique (individuels)	Chaufferie collective granulés Maisons individuelles : Poêle à bois (70%)
S3 : Géothermie	Géothermie	Géothermie	
S4 : PAC air/eau	Pompe à chaleur air/eau	Pompe à chaleur air/eau	

Figure 33 : Tableau des différents scénarios étudiés

NB : pour les bâtiments de logements collectifs les solutions étudiées sont systématiquement en chaufferie collective

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.

○ Comparaison des consommations en énergie finale

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

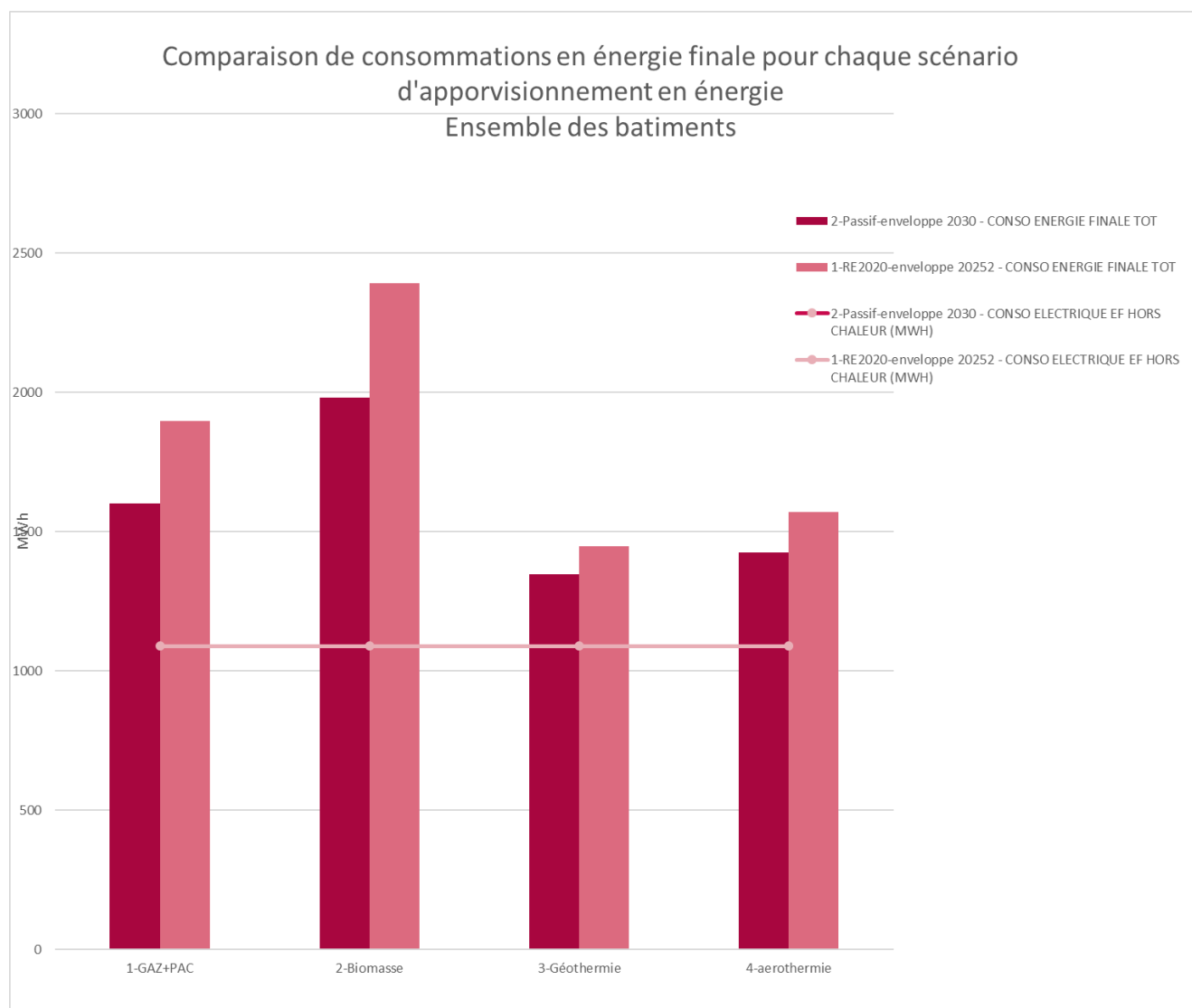


Figure 34 : Comparaison de la consommation d'énergie finale du projet par scénario d'approvisionnement énergétique

Cette consommation d'énergie est modulée par rapport aux besoins **2265 MWh/an (RE2020) et 1914 MWh/an (Passif)** calculées en Phase 1. 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 scénarios PAC géothermique et PAC air/eau présentent les meilleurs bilans de consommation en énergie finale car ils utilisent l'énergie gratuite du sol ou de l'air pour la production de chauffage et d'ECS.

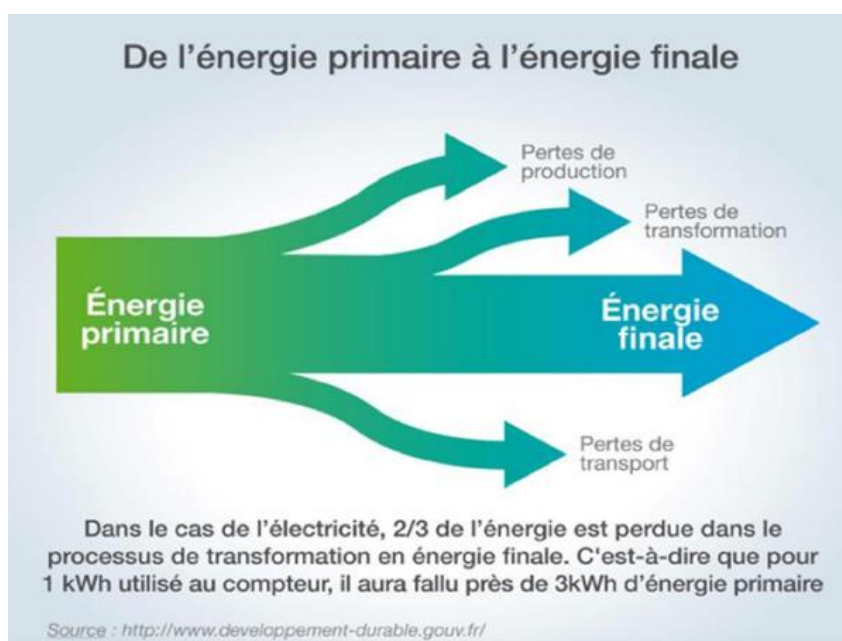
Le scénarios GAZ+PAC privilégie le fonctionnement de la chaudière gaz par basse température afin d'utiliser la PAC lorsque son COP sera le meilleur. La PAC couvre alors 71% des besoins thermiques.

Le scénario Bois granulé ne bénéficie d'aucun apport « gratuit » et le rendement des chaudières bois granulé (100%) équivalent à celui des chaudières gaz (100%). Ces comparaisons montrent qu'à niveau de besoin identique, **les bilans énergétiques annuels peuvent varier jusqu' à moins 63% 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.**

- **Comparaison des consommations en énergie primaire**

La consommation en énergie finale (énergie compteur) des systèmes thermodynamique est avantageuse. Or ces systèmes utilisent électrique laquelle est produite par des centrales ayant un certain rendement. Ainsi, il convient de comparer également la consommation en énergie primaire des systèmes.



En raison du mix énergétique, du rendement des centrales et du réseau électrique, 1 kWh d'énergie finale électrique correspond à 2,58 kWh d'énergie primaire.

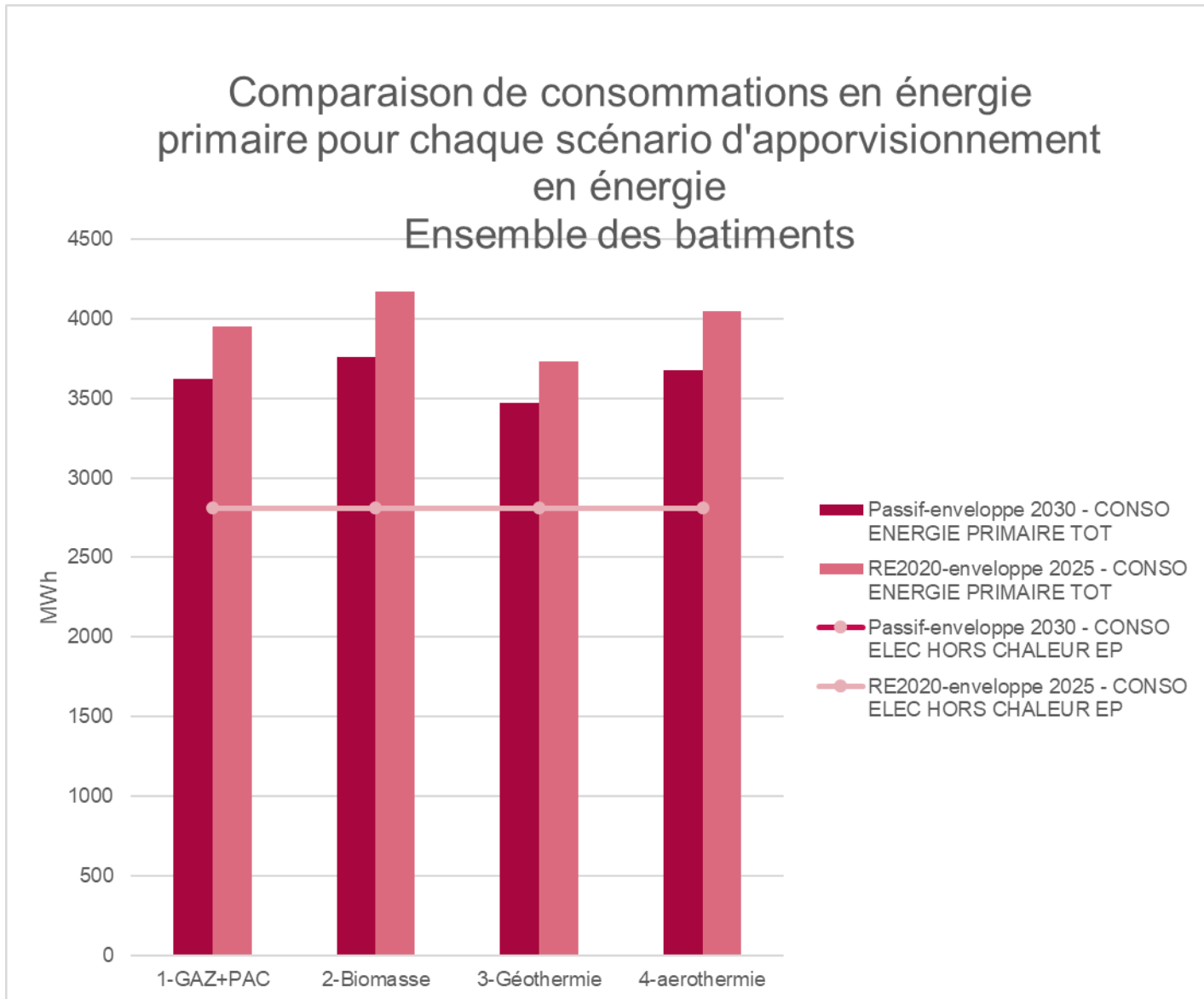


Figure 35 : Comparaison de la consommation d'énergie primaire du projet par scénario d'approvisionnement énergétique

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

○ 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
Fioul	6
Gaz	6
Propane	8

Figure 36 : Hypothèse de taux d'inflation en fonction du type d'énergie

- **Maison individuelle**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement initial, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour une maison individuelle de 115 m² SDP en moyenne :

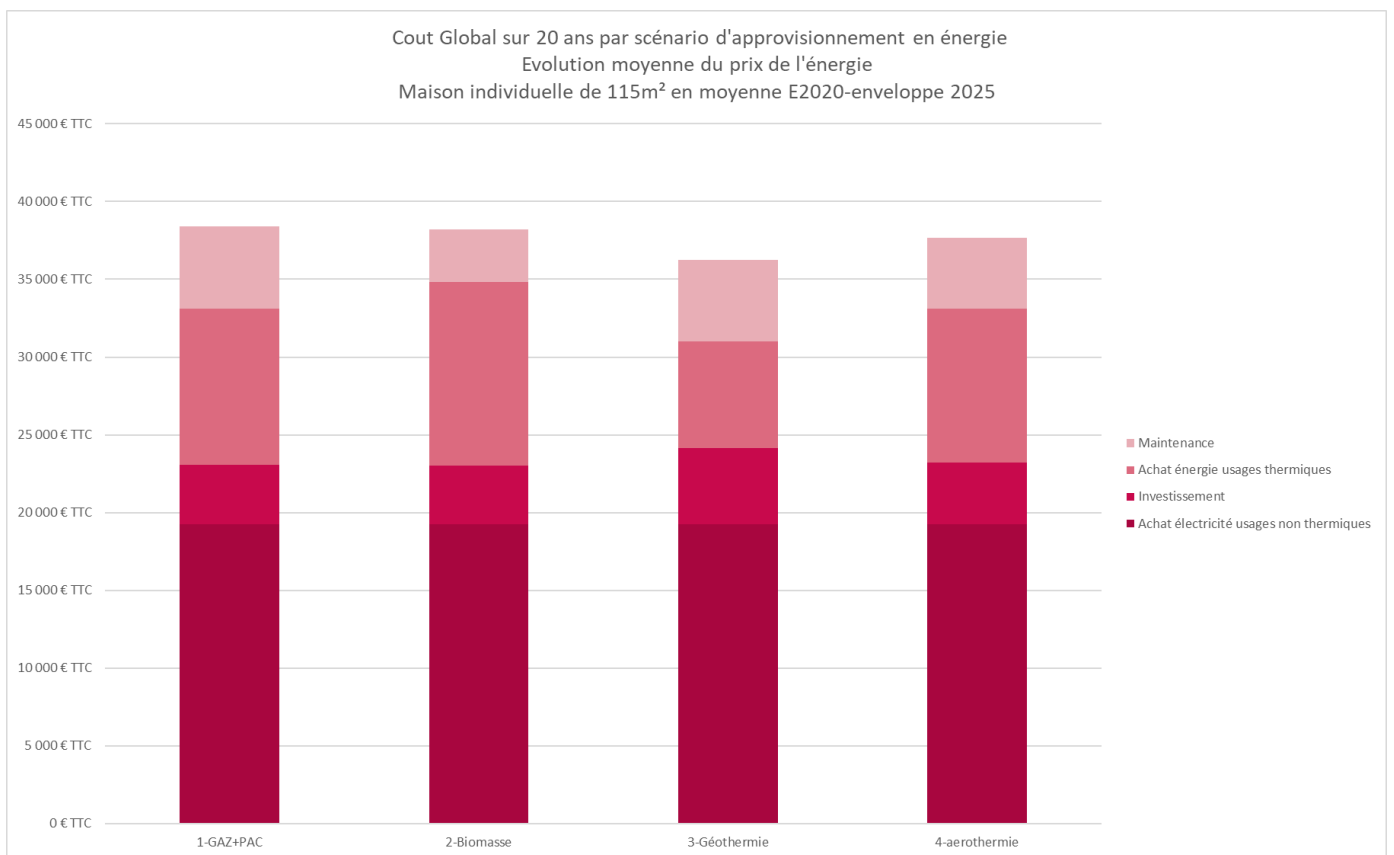


Figure 37 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie pour les maisons individuelles

- **Logement collectif**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement initial, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour logement collectif de 80 m² SDP en moyenne :

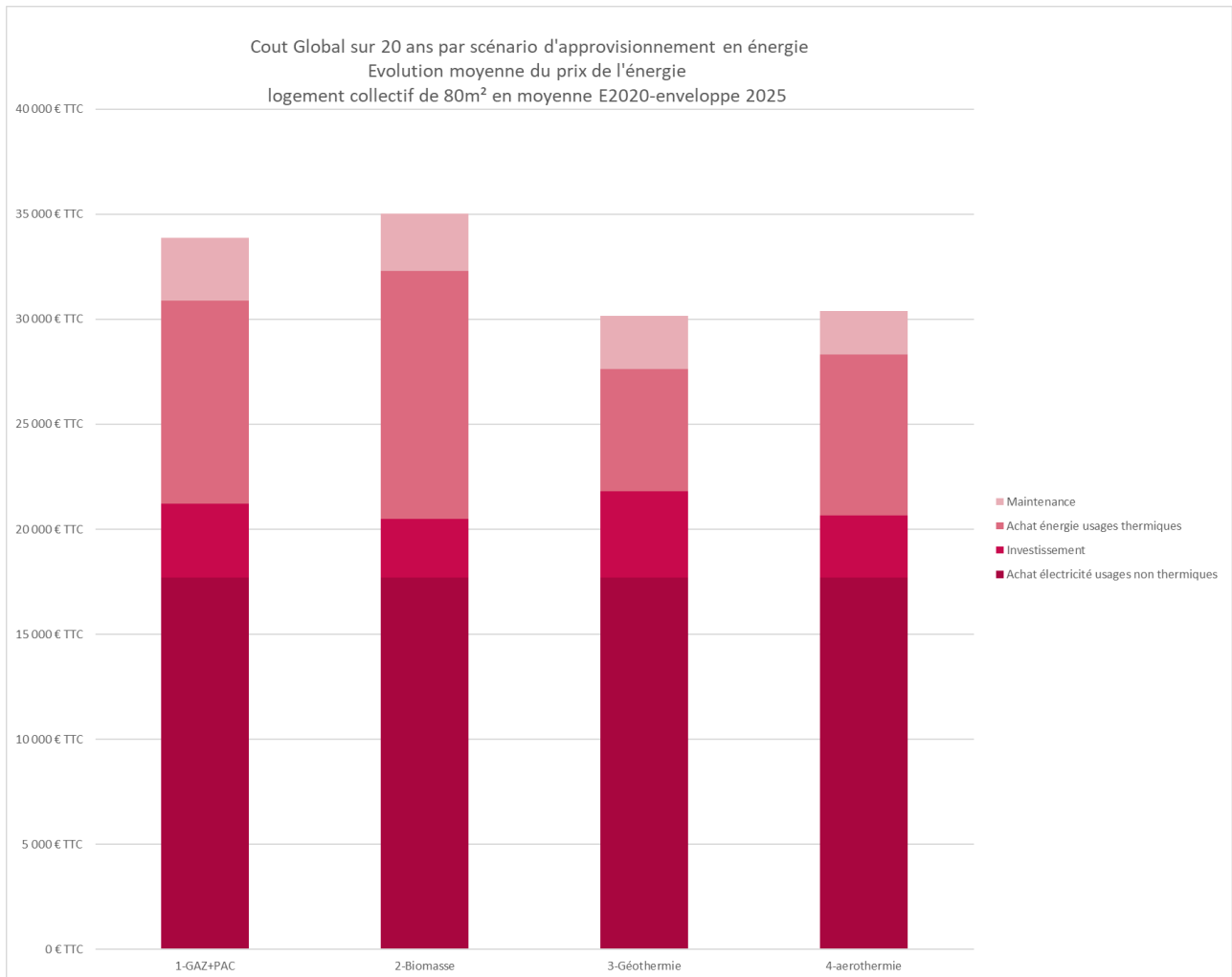


Figure 38 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie pour les logements collectifs

- **Logement individuel**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement initial, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour logement individuel de 95 m² SDP en moyenne :

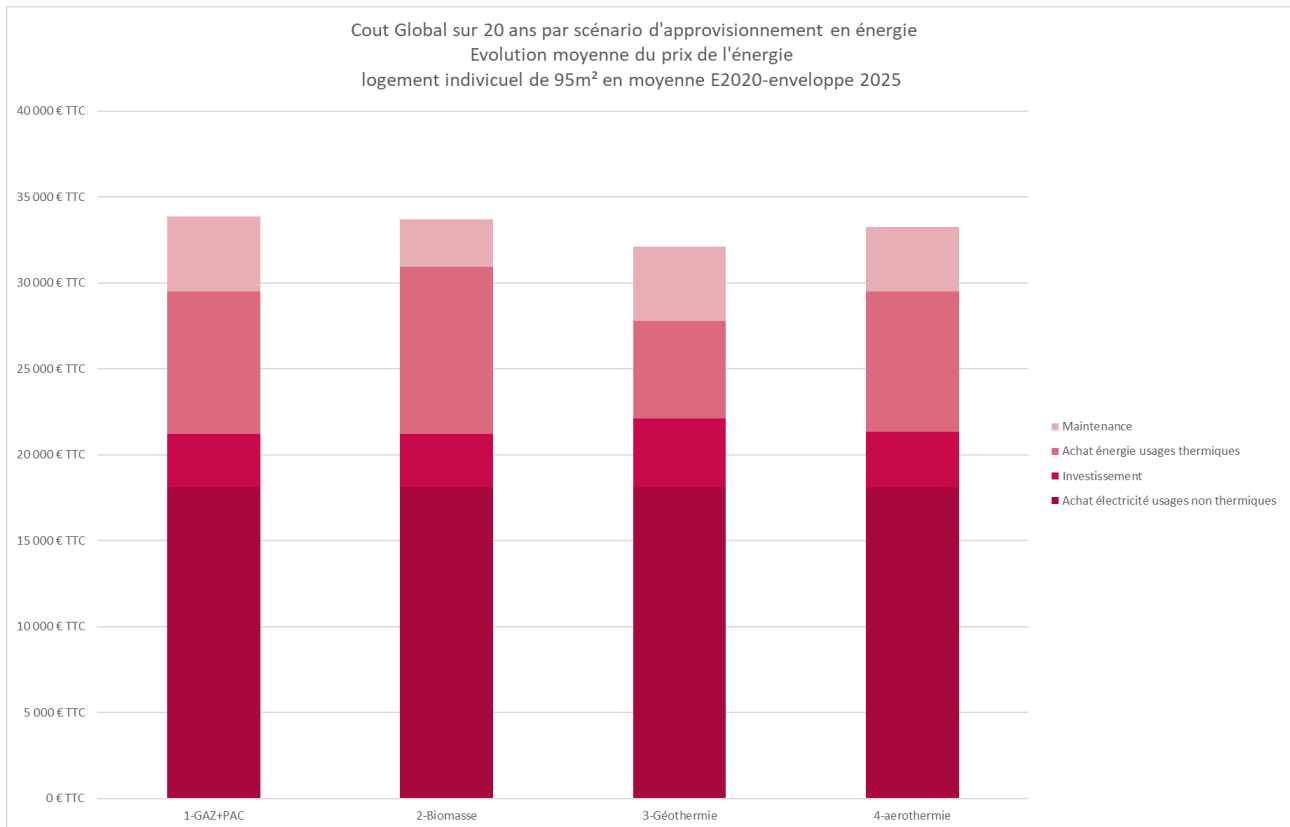


Figure 39 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie pour les logements individuels

▪ **Conclusion sur l'analyse économique :**

- L'électricité représente la part la plus importante des coûts de fonctionnement.
- Aucun scénario ne se démarque vraiment sur le plan économique.

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.

○ **Comparaison des émissions de gaz à effet de serre**

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

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

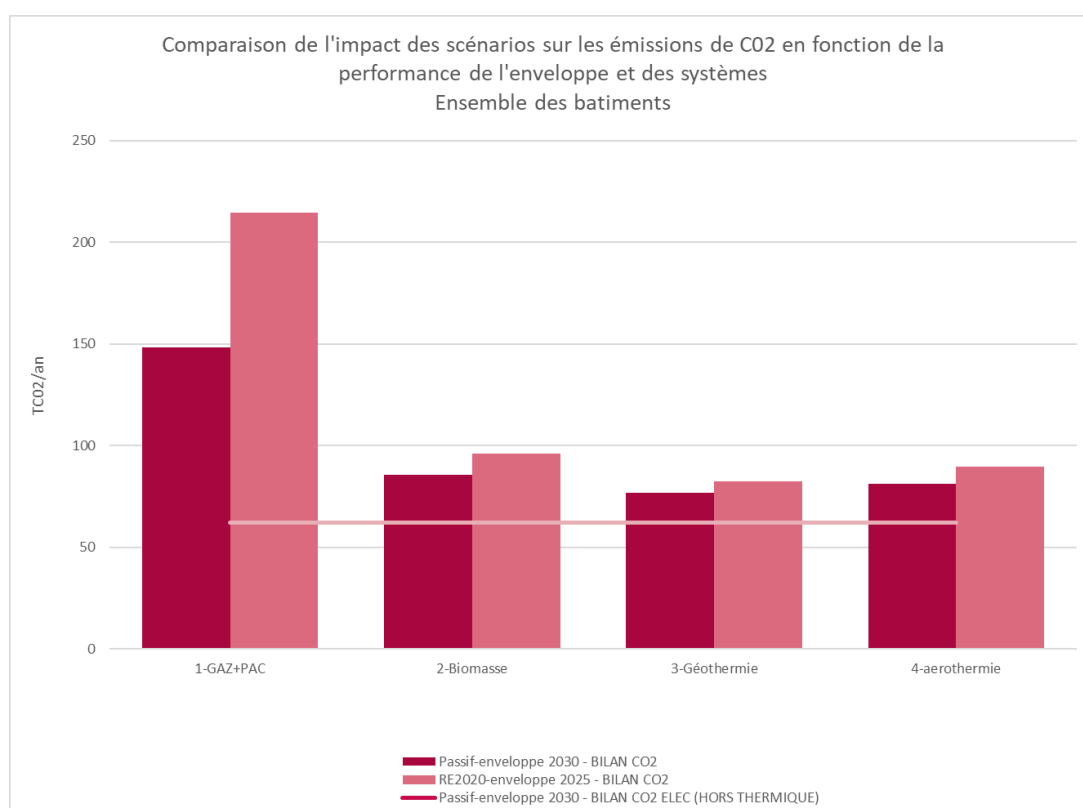


Figure 41 : Émissions de CO₂ du projet en fonction de la performance de l'enveloppe et des systèmes

Le scénario de référence émettrait **215 t de CO₂/an** pour un niveau RE2020 et **148 t de CO₂/an** pour un niveau passif.

Les scénarios biomasse, aérothermie et géothermie sont relativement performants du point de vue de la réduction des émissions de gaz à effet de serre en permettant de réduire les émissions jusqu'à 50% par rapport à la référence.

Il est à noter que la RE2020 impose un seuil en kgeqCO₂/m² d'émissions de GES liée au consommations énergétiques ce qui tends à lisser les écarts entre les solutions avec biomasse ou pompe à chaleur.

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 supérieures à celui du CO₂ !

○ **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.

○ **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 biomasse et GAZ+PAC 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
2-Biomasse						
3-Géothermie						
4-aerothermie						
1-GAZ+PAC						

Figure 42 : Évaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critère environnementaux et économiques

LÉGENDE Scénario

Réponse Favorable	Réponse mitigée ou adaptée partiellement au critère	Réponse Défavorable ou inadaptée	

- **PHASE 5 : PRISE EN COMPTE DE L'IMPACT CARBONE LIE AUX MATERIAUX DE CONSTRUCTION ET A LA CONSOMMATION D'ENERGIE.**

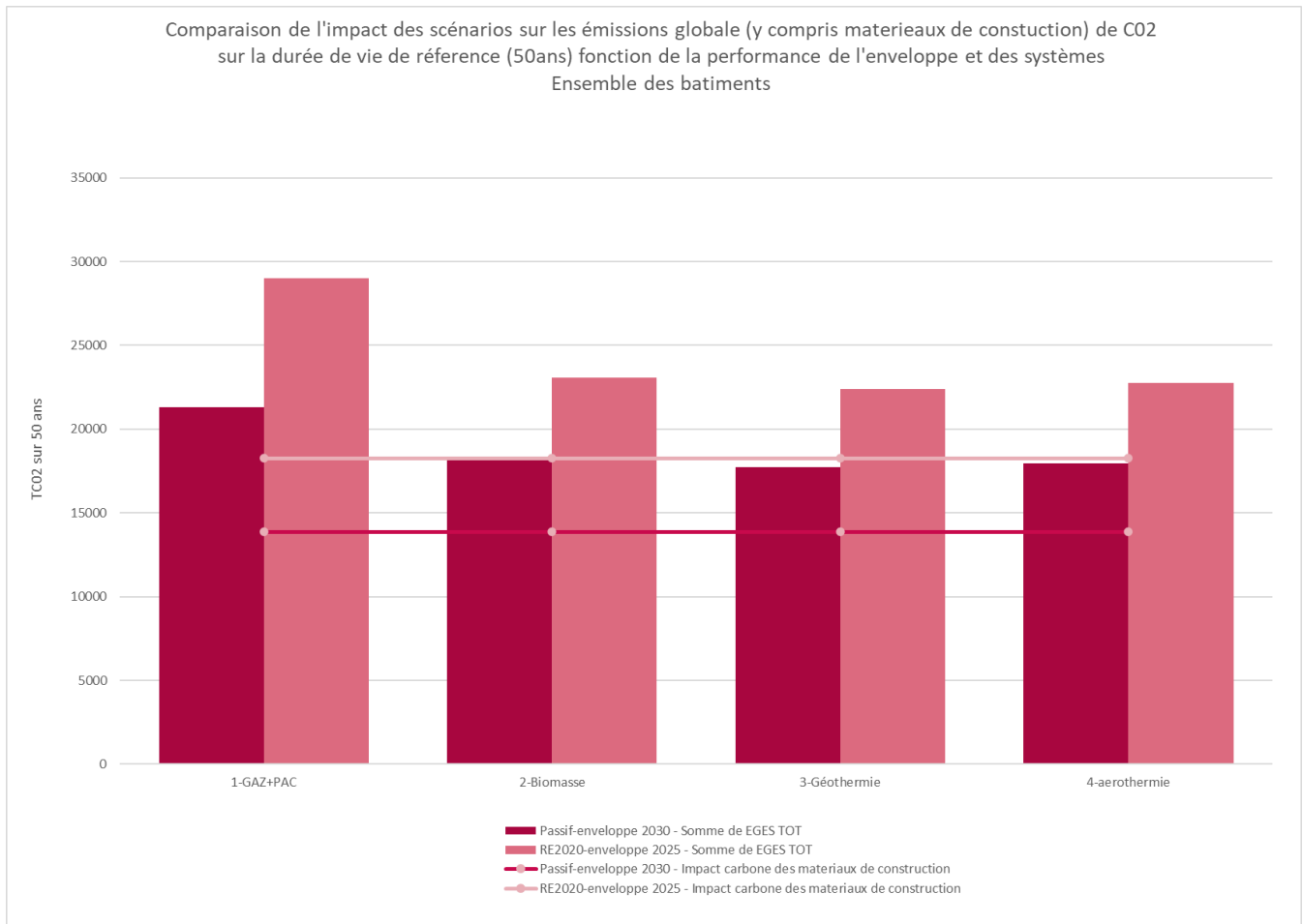


Figure 43 : Emissions de CO₂ du projet sur 50 ans

L'analyse du bilan carbone de l'aménagement met en évidence la prépondérance de l'impact carbone liée aux matériaux de construction en comparaison avec les émissions totales (produits de construction + émissions induites par l'énergie consommée au sein des bâtiments). Au-delà des questions liées à la raréfaction des ressources, la réduction des surfaces artificialisées et la mise en œuvre de matériaux renouvelables et/ou recyclés serait à envisager.

Le graphique ci-dessus représente les émissions de GES liée à l'énergie du bâtiment pour les deux « extrêmes » performance énergétique et enveloppe réglementaire (néanmoins qualitatif) et un niveau de performance « passif » avec une enveloppe à impact climatique plus faible.

L'impact des produits de construction représente de l'ordre de 50 à 75% des impacts climatiques du bâtiment sur 50 ans. Les mesures visant à réduire l'impact de l'enveloppe (construction biosourcée) sont donc particulièrement pertinentes.

- **PHASE 6 : ETUDE D'OPPORTUNITE DE CREATION D'UN RESEAU DE CHALEUR ALIMENTE PAR LES ENR**

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

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

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

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

Intérêts en milieu rural et en milieu urbain peu dense :

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

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

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

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

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

○ 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.

○ 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 habituellement

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.**

- **Hypothèses de consommations énergétiques considérées**

Les hypothèses de consommations énergétiques sont issues de l'étude d'approvisionnement en énergie réalisée précédemment.

- **Etude d'opportunité**

- **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.**

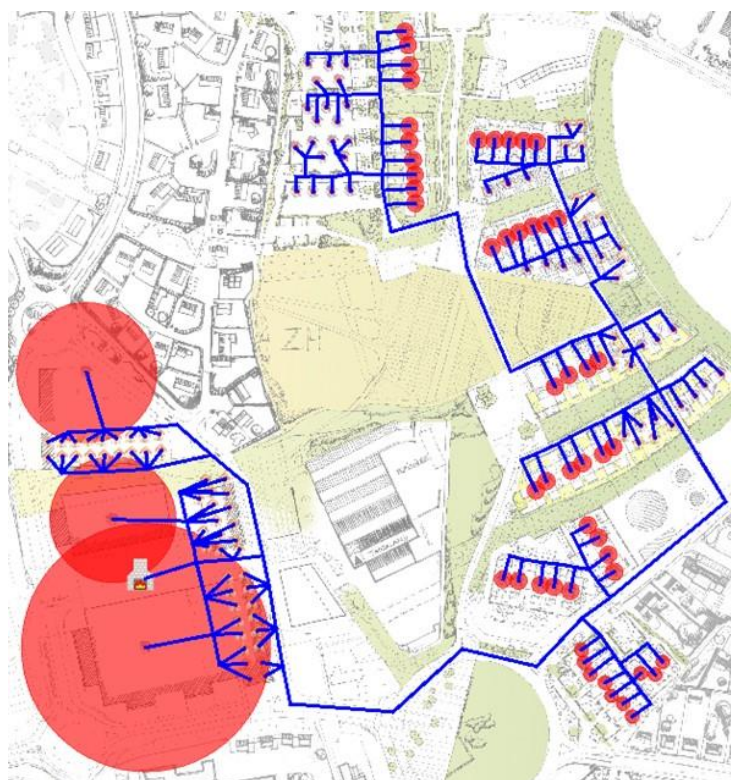


Figure 44 : Analyse qualitative de la densité énergétique secteur (source : Impulse)

Sur ce site, la création d'une chaufferie centralisée pour alimenter les blocs de bâtiments collectifs ne serait pas justifiée (pas de chevauchement des cercles). En revanche la production de chaleur collective à l'échelle des bâtiments peut être pertinente.

La création d'un réseau de chaleur plus étendu aux maisons individuelles est écartée afin de simplifier la gestion du réseau et de ne pas dégrader fortement la densité énergétique.

- **Conclusion :**

La création d'un réseau de chaleur desservant les maisons individuelles n'est pas pertinente sur les plans énergétiques et économique.

La création d'un micro-réseau de chaleur alimentant les blocs de bâtiments collectifs serait adapté sur les plan énergétique, économiques ainsi que sur la gestion. A défaut d'un micro-réseau de chaleur, la pertinence d'une production centralisée dans chaque bâtiment se vérifie. Ces modes de production sont également particulièrement adaptés pour répondre aux enjeux de la future RE2020. A contrario, l'installation de chaudières gaz individuelles dans des logements collectifs n'est pas favorable et enferme le bâtiment dans ce mode gestion énergétiques.

• PHASE 6 : 1ERE APPROCHE ENERGIE CLIMAT SUR LES TRANSPORTS ET L'ECLAIRAGE PUBLIC

○ Transports

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

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

▪ Propositions pour limiter l'impact des transports

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

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

▪ Estimation des impacts annuels domicile-travail

Le nombre de véhicule par logement collectif groupées a été fixé à 1 et à 2 pour les maisons individuelles soit un total de 567 véhicules.

Les hypothèses de distances parcourues domicile-travail, issues de d'étude INSEE de bretagne environnement, sont estimées à 23 kms.

<https://www.observatoire-des-territoires.gouv.fr/distance-oyenne-entre-le-domicile-et-le-travail-selon-le-sexe>

Dans ces conditions, les émissions annuelles polluantes du parc automobile seraient les suivantes :

Hypothèses		
	Hypothèse	Unité
Nombre de voitures	374	Voitures
Distance moyenne domicile travail	23	Km
Jours travaillés/an	220	Jours
Part des trajets en voiture individuelle	71%	
Emision CO2 du parc	130	gCO2/km
Consommation moyenne du parc	5,5	l/100km
Résultats		
Km parcours /an	2 726 150	km
Emision CO2	354,40	Tonnes
Consommation d'énergie MWh	1 364	MWh

Figure 5 : Émissions CO₂ du parc automobile de l'opération

Pour un nombre total de 374 **véhicules particuliers**, les émissions annuelles dues aux transports seraient de 354 **tonnes de CO₂**.

○ Consommation énergétique attendue pour l'éclairage public

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

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

	Eclairage nuit complète	Extinction nocturne 22h30/6h
Linéaire de voirie (m)	5125	5125
Puissance KW	15,375	15,375
Temps de fonctionnement/an (h)	4100	1910
Consommation électrique MWh	63,0	29,5
Coût	7787	4873
Emission kg CO2	3,6	1,7

Figure 6 : Chiffres selon la période nocturne

Pour un linéaire total estimé à 5 125 m de voiries éclairées, la consommation énergétique prévisionnelle serait de **63 MWh/an** en éclairage permanent et **29,5 MWh/an** avec une extinction nocturne.

L'extinction nocturne permet par ailleurs à la collectivité d'économiser environ 2914 euros/an.

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

Pour plus d'informations :

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

- **SYNTHESE DES IMPACT ENERGIE CLIMAT DE LA ZONE SUR 50ANS.**

	Consommation énergétique annuelle estimée (MWh/an)		Emissions min de CO2 (T/50 ans) y compris fabrication des matériaux	
	Min	Max	Min	Max
Bâtiments	1346	2391	17 717	28 987
Trajets domiciles travail en voiture	1364		17 720	
Eclairage	5,5	12,5	38	13
TOTAL	2 716	3 768	35 474	46 719

Figure 47 : Synthèse des impacts estimés d'un point de vue énergétique et effet de serre

La consommation d'énergie et les émissions de GES induites par les déplacements domicile travail (or autre mobilité quotidienne) sont équivalents aux impact énergie/climat liée au bâtiment. Des mesures favorables à une mobilité faiblement carbonée sont donc à prioriser (ex : logements équipés de bornes de recharges, autopartage, covoiturage, garages vélo fonctionnels et correctement dimensionnés, aménagements piétons et cyclables, desserte en transport en commun ...).

• PHASE 7 : PISTES DE MESURES COMPENSATION

○ 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.**

Impulse 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

▪ 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.

○ Proposition de mesures compensatoires

▪ 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.**

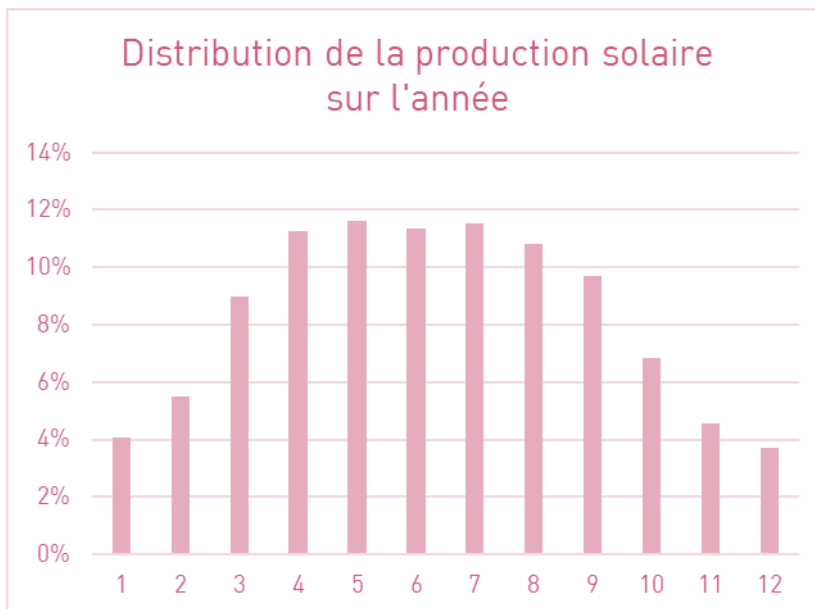
De fait, envisager une production locale d'électricité est cohérent avec l'objectif de compenser les impacts environnementaux de l'opération.

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 1 089 MWh/an.

La surface de panneaux à installer pour que la production annuelle compense la consommation annuelle d'électricité (hors chaleur) est de 7800 m².

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
Consommation électricité (hors chaleur annuelle)	1 089	MWh			
Surface panneaux PV pour Bilan électrique annuel >0	7 782	m ²	68%	62	29%
Surface panneaux PV pour Bilan électrique Décembre>0	29 831	m ²	262%	238	111%

Pour que la production locale d'électricité en décembre excède la consommation en décembre et ainsi soulager le réseau électrique en hiver, il faudrait installer de l'ordre de 30 000 m² soit de panneaux photovoltaïques (réduction de 29% à 111% des émissions de CO₂ des bâtiments) soit 262% de la surface de toiture estimée.



Figure 78 : Ombrière photovoltaïque

▪ Stockage de carbone : plantation de biomasse

• Préambule

Le cycle du carbone implique la biomasse comme capteur de carbone par excellence : en effet, la photosynthèse permet aux plantes de capter du CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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.

- **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**.

- **Simulation de la surface boisée correspondante**

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

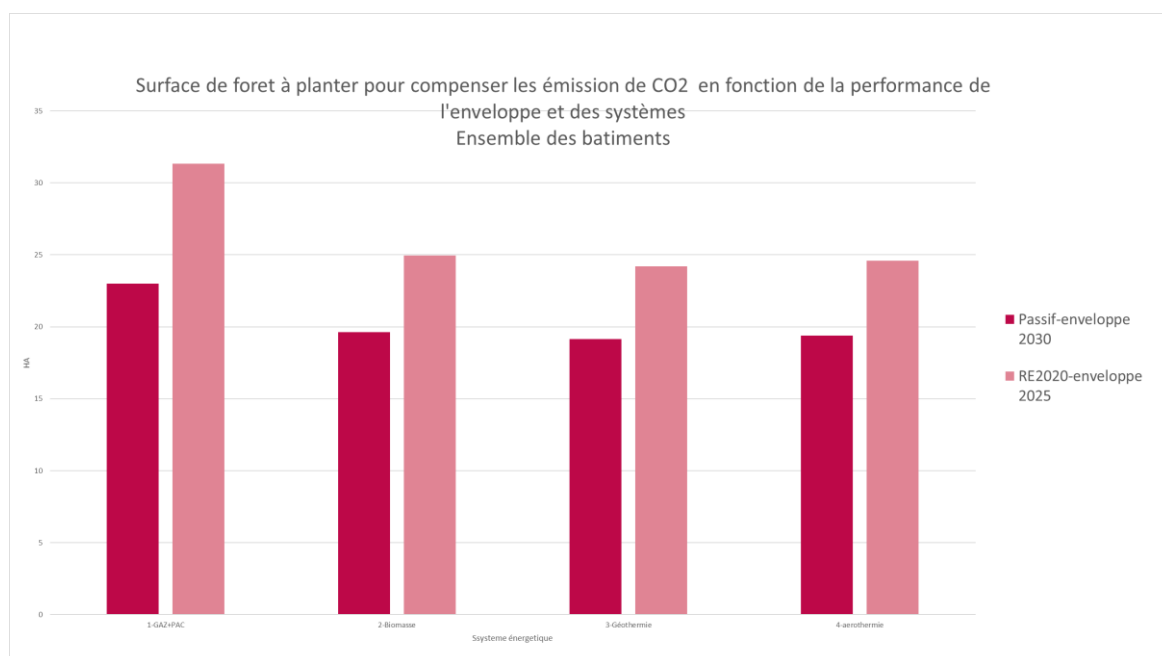


Figure 49 : Calcul de la surface boisée nécessaire en mesure compensatoire

Le scénario de référence nécessiterait donc, selon nos hypothèses, de 24 à 31 ha de forêt en mesure compensatoire pour le niveau RE2020 avec une enveloppe de base, de 19 à 23 ha pour le niveau passif avec une enveloppe bas carbone.

- PHASE 8 : SYNTHÈSE DES IMPACTS**

	Consommation énergétique annuelle estimée (MWh/an)		Emissions min de CO2 (T/50 ans) y compris fabrication des matériaux		Surface forestière à planter (ha)		Surface forestière à planter (multiple de la surface de la zone)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Bâtiments	1346	2391	17 717	28 987	19,2	31,3	1,5	2,5
Trajets domicile travail en voiture	1364		17 720		19		2	
Eclairage	5,5	12,5	38	13	0,04	0,01	0	0
TOTAL	2 716	3 768	35 474	46 719	38	51	3	4

	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
2-Biomasse						
3-Géothermie						
4-aérothermie						
1-GAZ+PAC						