



Parc d'Activités « Bois Vert 3 »

Extension d'un Parc d'Activités à PLOERMEL (56)

-

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



*Référence interne : 25A
Mars 2025*

Maître d'ouvrage :
PLOERMEL COMMUNAUTE
Place de la Mairie
56800 PLOERMEL

Version	Date	Remarques
0.9	25/03/2025	Version transmise au maître d'ouvrage pour validation
1.0	31/03/2025	Version finalisée pour dépôt et instruction

Porteur de projet :

PLOËRMEL COMMUNAUTÉ
SIRET : 200 066 777 00018
Représentée par M. Patrick LE DIFFON, Président
Place de l'Hôtel de Ville
56800 PLOERMEL

Rédacteur de l'étude :

AURINKO
Représenté par Sébastien GARDE
8 rue du Stade
56890 VANNES
sebastien.garde.56@gmail.com
06.13.28.03.17

Sommaire

Sommaire	3
Table des illustrations	5
Lexique	7
Introduction	8
Éléments de contexte	10
A. La lutte contre le réchauffement climatique	10
B. Evolution de la réglementation thermique en France	14
C. Les énergies renouvelables.....	18
D. Contexte énergétique en région Bretagne.....	18
E. Contexte territorial et communal.....	23
Présentation du projet	30
F. Localisation du projet	30
G. Topographie	30
H. Eléments paysagers	32
I. Schéma d'aménagement étudié	33
J. Label	34
Sources d'énergie mobilisables sur le site	35
L. Energies fossiles.....	35
M. Energies renouvelables.....	36
Phase 1 : étude du potentiel de la zone d'étude vis-à-vis des énergies renouvelables	39
A. Energie solaire.....	39
B. Energie éolienne	42
C. Energie géothermique.....	44
D. Récupération d'énergie sur les eaux usées	45
E. Biogaz	46
F. Energie bois.....	47
G. Synthèse du potentiel de développement des énergies renouvelables sur la zone	49
H. Synthèse sur l'impact environnemental des énergies mobilisables.....	50
Phase 2 : évaluation de la consommation énergétique du projet	52
A. Consommations liées aux process industriels	52
B. Usages liés au bâti.....	52
C. Eclairage public	54
D. Transports.....	58
E. Energie gris liée à la construction des bâtiments.....	61
Phase 3 : approvisionnement en énergie du projet par les énergies renouvelables	62
A. Production d'électricité par petit et moyen éolien.....	62
B. Production de chaleur et/ou d'électricité par énergie solaire.....	63
C. Production de chaleur par aérothermie.....	65
D. Production de chaleur par géothermie	65
E. Production de chaleur par bois énergie	66
F. Synthèse	66
Phase 4 : étude d'opportunité de création d'un réseau de chaleur alimenté par les EnR	67
G. Etude d'opportunité du réseau de chaleur sur le secteur.....	67
H. Notion de densité énergétique pour un réseau de chaleur	67
I. Etude d'opportunité	68
Phase 5 : étude de l'impact de la mobilisation	69
des énergies renouvelables	69
A. Définition des scénarios.....	69
B. Comparaison des consommations en énergie finale	69

C.	Comparaison des coûts d'investissement	71
D.	Comparaison des émissions de GES par la production d'énergie	72
E.	Compatibilité avec le contexte énergétique local	73
F.	Synthèse des scénarios.....	74
Phase 6 : pistes de mesures compensatoires		75
A.	Note sur les unités de mesures	75
B.	Emissions de CO ₂ des différentes solutions énergétiques	75
C.	Principe de compensation carbone	78
D.	Proposition de mesures compensatoires à l'échelle du projet	79
Synthèse des avantages et contraintes des énergies renouvelables étudiées		82
Synthèse et conclusions		84
Annexes		86
Annexe 1 : fiches techniques sur les énergies renouvelables		86
Annexe 2 : hypothèses relatives aux émissions de CO ₂ liées au bâti.....		110
Annexe 3 : hypothèses relatives aux émissions polluantes des véhicules		111

Table des illustrations

Illustration n°1 : Localisation du projet (source : Géoportail)	8
Illustration n°1 : L'évolution des seuils pour l'Ic Energie et l'Ic Construction (source : actu-environnement.fr).....	17
Illustration n°2 : Consommation d'énergie finale par habitant en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne).....	19
Illustration n°3 : Répartition des consommations par secteurs en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne).....	20
Illustration n°4 : Production d'énergie en Bretagne par filière de production en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)	21
Illustration n°5 : Evolution de la production d'énergie en Bretagne par filière de production entre 2005 et 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)	21
Illustration n°6 : Evolution de la puissance du parc de production d'énergies renouvelables et de récupération en Bretagne en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)	22
Illustration n°7 : Répartition de émissions de GES par poste en Bretagne en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)	23
Illustration n°8 : Etat d'avancement des PCAET en Bretagne au 31/10/2024 (source : Région Bretagne, 2025)	25
Illustration n°9 : Consommations énergétiques sur le territoire de Ploërmel Communauté en 2014, en énergie finale (Source : PCAET, 2020)	26
Illustration n°9 : Répartition de la production d'énergie renouvelable sur le territoire de Ploërmel Communauté en 2014 (Source : PCAET, 2020)	26
Illustration n°10 : Répartition des émissions de GES (source : PCAET, 2020)	26
Illustration n°11 : Répartition des émissions du territoire en 2014 par polluant.....	27
Illustration n°11 : Objectifs de maîtrise de l'énergie (source : PCAET, 2020)	27
Illustration n°11 : Potentiel de production des énergies renouvelables sur le territoire	28
Illustration n°11 : Axes stratégiques du PCAET de Ploërmel Communauté.....	29
Illustration n°12 : Localisation du projet au niveau communal (source : IGN, Géoportail)	30
Illustration n°14 : Topographie du secteur (source : Géoportail)	31
Illustration n°14 : Topographie globale à l'Est de la commune de Ploërmel	31
Illustration n°14 : Topographie du site, sur la base du lever topographique (sources : ORIGAMI, GBS)	32
Illustration n°14 : Usages du sol aux abords du périmètre du projet (source : Géoportail)	33
Illustration n°18 : Plan masse du projet (source : GBS)	34
Illustration n°19 : Insolation annuelle en Bretagne – Moyenne sur la période 1997-2006 (source : Bretagne Environnement)	39
Illustration n°20 : Orientation optimale des façades principales : SUD +/- 20°	40
Illustration n°21 : Capteurs solaires thermiques sur toitures végétales (source : Wikipédia)	41
Illustration n°22 : Capteurs solaires photovoltaïques en toiture (source : Wikipédia)	42
Illustration n°23 : Rose des vents de la station météorologique de Ploërmel-Loyat sur 1994-2024 (source : Meteoblue)	42
Illustration n°24 : Grand éolien – Parc éolien à Estinnes, en Belgique (source : Wikipédia).....	43
Illustration n°25 : Exemple de petite éolienne verticale (source : EOLIE)	44
Illustration n°26 : Principes de fonctionnement d'un récupérateur de chaleur d'eaux de douches (source : ZYPHO)	46
Illustration n°27 : Principe de la méthanisation (source : EDF)	47

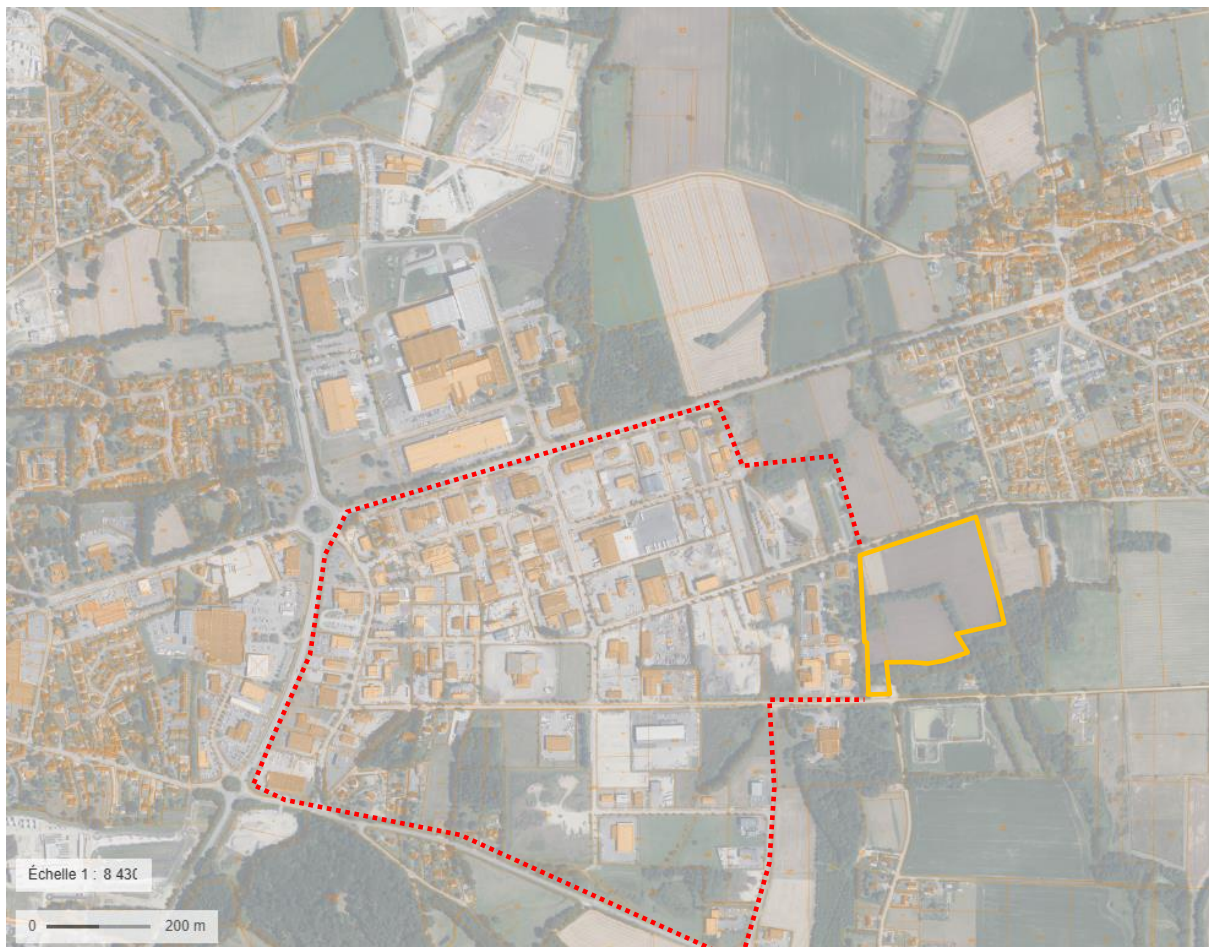
Illustration n°28 : Différentes formes d'énergie bois (source : Plan Bois Energie Bretagne)	48
Illustration n°31 : Graphique des consommations énergétiques en fonction de la performance énergétique	53
Illustration n°33 : Estimation de l'évolution de la pollution lumineuse en Amérique du Nord entre 1950 et 2025 (source : Cinzano, Falchi, ELvidge, 2001).	56
Illustration n°34 : Vers un meilleur éclairage des espaces publics (Source : RICEMM.org)	57
Illustration n°35 : Comparaison des scénarios d'éclairage public.....	58
Illustration n°36 : Schéma d'implantation possible du petit éolien sur une trame de 22 m.....	63
Illustration n°37 : estimation des surfaces disponibles pour l'implantation de panneaux solaires sur l'ensemble de l'opération.....	64
Illustration n°38 : productibilité moyenne annuelle estimée pour les différents types de capteurs solaires envisageables à l'échelle du projet.....	64
Illustration n°39 : productibilité moyenne annuelle estimée pour la production d'énergie solaire à l'échelle du projet	64
Illustration n°40 : Taux de couvertures des besoins énergétiques par les EnR mobilisables à l'échelle du projet.....	66
Illustration n°44 : synthèse des équipements envisagés dans le cadre des différents scénarios	69
Illustration n°45 : Comparaison des consommations annuelles en énergie finale de l'ensemble du projet pour chaque scénario d'approvisionnement en énergie, au standard RE2020(Mwhéf/an).....	69
Illustration n°55 : Extrait de la note de cadrage sur le contenu en CO ₂ du kWh électrique par usage en France (source : ADEME, 2005)	72
Illustration n°56 : Comparaison des différents scénarios sur les émissions de CO ₂ liées	73
Illustration n°59 : Synthèse des émissions annuelles estimées à l'échelle de l'ensemble de l'opération.....	78
Illustration n°60 : Part de la consommation d'électricité spécifique pouvant être produite par panneaux solaires photovoltaïque à l'échelle du projet	79
Illustration n°61 : Surfaces de forêt équivalente à planter localement pour compenser les émissions de CO ₂ du bâti en fonction des scénarios et de la performance énergétique.....	81
Illustration n°63 : Taux de couvertures des besoins énergétiques par les EnR mobilisables à l'échelle du projet.....	84
Illustration n°64 : Trajectoire du soleil suivant la saison (source : lepanneausolaire.net)	87
Illustration n°65 : La conception bioclimatique (source : inex.fr)	88
Illustration n°66 : Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire individuel (source : ADEME)	90
Illustration n°67 : Principe de fonctionnement d'un chauffage solaire (source : Solisart)	91
Illustration n°68 : Schéma d'une installation photovoltaïque reliée au réseau (source : ADEME)	93
Illustration n°69 : Panneau solaire multicristallin (source : conseils-thermiques.org)	94
Illustration n°70 : Membrane d'étanchéité sur bâtiment tertiaire (source : TALEV.fr)	94
Illustration n°71 : Tarif de revente de l'électricité photovoltaïque – revente totale, Juillet à Septembre 2021	96
Illustration n°72 : Tarif de revente de l'électricité photovoltaïque après auto-consommation, Juillet à Septembre 2021	96
Illustration n°73 : Schéma de principe d'une pompe à chaleur (source : Elyotherm)	98
Illustration n°74 : Schéma d'une éolienne (source : ADEME)	102
Illustration n°75 : Eolienne urbaine (source : Wikipedia)	103
Illustration n°76 : Eolienne à axe vertical (source : Wikipedia)	103
Illustration n°77 : Grand éolien (source : Wikipedia)	103
Illustration n°78 : Différentes formes d'énergie bois (source : Plan Bois Energie Bretagne)	106

ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
Anah	Agence nationale de l'habitat
BBC	Bâtiment Basse Consommation
Bbio	Besoins bioclimatiques, indicateur de la qualité de conception bioclimatique du bâtiment issue de la RT2012
BEPOS	Bâtiment à Energie Positive produisant plus d'énergie qu'il n'en consomme
Cep	Consommation d'énergie primaire(en kWh/m ² de SHON RT/an)
CET	Chauffe-Eau Thermodynamique
CMP11	Conférence des parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques de 2015, qui s'est tenue à Paris (également appelée COP21)
COP	Coefficient de performance
COP21	Conférence des parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques de 2015, qui s'est tenue à Paris (également appelée CMP11)
DPE	Diagnostic de Performance Energétique
ECS	Eau Chaude Sanitaire
EH	Equivalent Habitant
EIE	Espace Info Energie
Energie primaire	Energie utilisable après les opérations d'extraction, de production, de transport.
Energie finale	Energie disponible avant exploitation ou transformation
EnR	Energie renouvelable
EPCI	Etablissement Public de Coopération Intercommunal
GES	Gaz à Effet de Serre
GMI	Géothermie de Minime Importance
HPE	Haute Performance Energétique
HQE	Haute Qualité Environnementale
kW	Kilo Watt, unité de puissance ou flux énergétique. 1kW = 1 000 W = 1 000 Joules/s
kWc	Kilo Watt Crête, unité de mesure utilisée pour évaluer la puissance atteinte par un panneau solaire lorsqu'il est exposé à un rayonnement solaire maximal
kWh	KiloWatt-heure, unité d'énergie correspondant à celle consommée par un appareil de 1 000 Watts en 1 heure
kWh_{ef}	KiloWatt heure d'énergie finale
kWh_{ep}	KiloWatt heure d'énergie primaire
MTep	Mégatonne équivalent pétrole
OAP	Orientation d'Aménagement et de Programmation
PAC	Pompe A Chaleur
Passif	Bâtiment très faiblement consommateur d'énergie
Passivhaus	Référentiel et label de construction passive
PCAET	Plan Climat Air Energie Territorial
PCET	Plan Climat Energie Territorial (mis en œuvre avant les PCAET)
PHPP	Logiciel de calcul thermique relatif au référentiel Passivhaus
PLU	Plan Local d'Urbanisme
RCU	Réseau de Chaleur Urbain
RE2025	Réglementation Energétique en vigueur depuis 2025
RE2020	Réglementation Energétique en vigueur de 2022 à 2024
RT2000	Réglementation Thermique en vigueur de 2000 à 2005
RT2005	Réglementation Thermique en vigueur de 2005 à fin 2012
RT2012	Réglementation Thermique en vigueur depuis 2013
RT74	Réglementation Thermique en vigueur entre 1974 et 1982
RT82	Réglementation Thermique en vigueur entre 1982 et 1988
RT88	Réglementation Thermique en vigueur entre 1988 et 2000
SDP	Surface De Plancher
SHAB	Surface habitable
SHON	Surface Hors CŒuvre Nette
SHON RT	SHON considérée dans la réglementation thermique
SRADDET	Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires
SRCAE	Schéma Régional Climat Air Energie
STD	Simulation Thermique Dynamique
TeqCO₂	Tonne équivalent de CO ₂
THPE	Très Haute Performance Energétique
Tic	Température intérieure de confort, issue de la RT2012

Introduction

PLOERMEL COMMUNAUTE porte le projet d'**extension du Parc d'Activités de Bois Vert**, à l'**Est de la ville de PLOERMEL** dans le département du Morbihan. Cette opération nommée « **BOIS VERT 3** » prévoit l'aménagement de **8 lots, subdivisibles au maximum en 15 lots**, sur une emprise de **6,7 ha**.

Le site du projet s'étend sur un **secteur urbanisable Ue** au PLU de PLOERMEL. Ces secteurs sont destinés à recevoir des **activités spécifiques industrielles et artisanales**, dont l'implantation à l'intérieur des quartiers d'habitation n'est pas souhaitable.





-  Périmètre du Parc d'Activité de Bois Vert actuel
-  Périmètre du projet d'extension

Illustration n°1 : Localisation du projet (source : Géoportail)

Ce projet correspond à une **opération d'aménagement** telle que définie à l'article L.300-1 du Code de l'Urbanisme. Il se trouve soumis à **étude d'impact** après examen au cas par cas au titre de la rubrique 39 du tableau placé en annexe de l'article R.122-2 du Code de l'Environnement.

L'article L.300-1 du Code de l'Urbanisme précise :

« Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L.300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact 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. »

La présente étude vient se placer en réponse à cette exigence réglementaire en analysant la **faisabilité technique et économique** de la mise en œuvre de différentes solutions de production d'énergies renouvelables à l'échelle de l'opération. La pertinence des **solutions collectives** est analysée, autant que possible (réseaux de chaleur notamment).

Cette étude vise à alimenter autant que possible l'étude d'impact en précisant quels sont les incidences du projet au niveau de la **consommation d'énergies** et indirectement au niveau des **émissions de gaz à effets de serre**. Elle vise dans cette continuité à identifier des leviers permettant d'éviter, réduire voire compenser les incidences sur l'environnement et la santé.

Cette étude se décompose en plusieurs phases :

- La première vise à estimer les **besoins en énergie finale** à l'échelle de l'opération, notamment par rapport au bâti.
- La deuxième vise à définir **quelles énergies renouvelables sont mobilisables** sur le site du projet.
- La troisième vise à estimer le **taux de couverture des besoins** du projet par les Energies Renouvelables (EnR).
- La quatrième vise à étudier l'**opportunité** de réaliser un **réseau de chaleur** sur le site de l'opération.
- La cinquième conduit à **estimer l'impact énergétique, financier et environnemental de différents scénarios d'approvisionnement en énergie** faisant intervenir les énergies fossiles et électriques, ainsi que les EnR. Cette partie s'applique par ailleurs à identifier des leviers permettant de compenser l'impact énergétique du projet.

Enfin, il convient de rappeler que cette étude est à considérer comme un outil d'aide à la décision à destination des maîtres d'ouvrages en vue d'éclairer les choix en matière d'aménagement. Elle n'a pas de valeur prescriptive.

Éléments de contexte

Dans le contexte de croissances démographique et économique constantes, le développement des **énergies renouvelables** constitue un **enjeu majeur** :

- D'une part pour **lutter contre le réchauffement climatique** en réduisant les émissions de gaz à effet de serre associés aux ressources non-renouvelables ;
- D'autre part pour tendre vers une **autonomie énergétique** en réduisant l'utilisation des énergies fossiles.

La présente étude s'inscrit dans cette logique en identifiant concrètement, au niveau local et opérationnel des leviers, des leviers à mobiliser dans le cadre du projet d'aménagement pour contribuer à ces objectifs.

Il convient de replacer cette étude dans le contexte actuel. Cette partie de l'étude vise ainsi à aborder successivement :

- La **lutte contre le réchauffement climatique**, et les outils mises en œuvre tant au niveau international que local en vue d'y contribuer ;
- L'évolution du **contexte réglementaire**, notamment au niveau de la réglementation thermique du bâti s'imposant aujourd'hui aux projets d'aménagements en vue de limiter les consommations énergétiques ;
- La notion d'**énergies renouvelables** et ce qu'elle inclut ;
- Le **contexte énergétique régional**, en vue d'identifier les enjeux locaux et les politiques déclinées au niveau régional.

A. La lutte contre le réchauffement climatique

Le réchauffement climatique est le phénomène d'augmentation des températures moyennes océaniques et atmosphériques, du fait d'émissions de gaz à effet de serre excessives associées à l'activité humaine depuis le début du 20^{ème} siècle.

Le phénomène global de réchauffement de l'atmosphère est susceptible d'engendrer en cascade des conséquences majeures, transfrontalières et pour certaines rapides, parmi lesquelles :

- La modification de la **circulation des masses d'air** et des **courants océaniques** ;
- La modification de la **répartition des précipitations** ;
- La modification des **cycles climatiques** et la hausse des **phénomènes météorologiques extrêmes** (vagues de chaleur, tempêtes) ;
- La réduction de la couverture neigeuse des massifs montagneux et la **fonte des glaces** aux pôles, couplées à un **réchauffement des océans** induisant une **montée du niveau des eaux** et d'une réduction de la part d'eau douce disponible sur le globe ;
- Le **dégèle du permafrost**, accompagné de la libération dans l'atmosphère de quantités importantes de méthane, gaz à effet de serre ;
- L'**acidification des milieux marins**, accompagnée d'un **déclin de la biomasse océanique** ;
- La modification rapide et brutale des conditions de vie de nombreuses espèces végétales et animales, la **déstabilisation des écosystèmes**, la modification des aires de répartition des espèces, les **changements physiologiques** des organismes et l'**extinction de certaines espèces** ;
- La **modification des pratiques agricoles** et les **conséquences sanitaires, sociales et économiques** en découlant (famines, pauvreté, exodes, guerres).

Si l'étendue et la rapidité des effets restent débattues du fait des nombreux paramètres à considérer et de l'extrême exhaustivité et complexité de leurs interactions, le réchauffement climatique fait aujourd'hui l'objet d'un **quasi-consensus** et s'inscrit comme le **défi majeur du 21^{ème} siècle**. La réduction des consommations en énergie, la substitution des énergies fossiles par les énergies renouvelables apparaissent ainsi des leviers majeurs de lutte à l'échelle mondiale.

Depuis la fin du 20^{ème} siècle, de **nombreux outils** ont été mis en œuvre au **niveau international** comme au **niveau local** en France en vue de coordonner la lutte, de fixer des objectifs et d'identifier des leviers d'action contre le réchauffement climatique.

1. A l'échelle internationale

En **2015**, la Conférence de Paris sur les changements climatiques est approuvée à l'unanimité par les 196 délégations représentées, dont l'Union européenne. Elle constitue la 21^{ème} conférence des parties (**COP21**) à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et la 11^{ème} conférence des parties siégeant en tant que réunion des parties au Protocole de Kyoto (CMP11). Elle conclut à un accord international sur le climat, applicable à tous les pays, fixant comme objectif une **limitation du réchauffement mondial entre 1,5°C et 2°C d'ici 2100**.

Cet accord s'appuie notamment sur le Paquet-Energie-Climat 2030 adopté en Octobre 2014 par l'Union Européenne, accord conduisant les états européens à coopérer pour la transition énergétique.

Le **Paquet-Energie-Climat 2030** établit des objectifs à différents horizons :

- A court terme : **réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) de 40%** d'ici 2030, par rapport à 1990 ;
- A moyen terme : **réduction des émissions de GES de 80 à 95% d'ici 2050**, par rapport à 1990 ;
- A long terme : **0 émission nette d'ici 2100**, pour garantir une augmentation maximale de 2°C de la température.

Le cadre énergie-climat favorise la transition énergétique notamment en fixant :

- Un objectif de **27% d'énergies renouvelables dans le mix énergétique d'ici 2030** ;
- Un objectif de **27% d'économie d'énergies d'ici 2030** ;
- Un soutien significatif aux Etats-membres, notamment les moins avancés, pour investir dans l'innovation et les projets concrets, via un fonds de modernisation géré par les Etats-membres (« NER400 ») et la redistribution de 10% des quotas carbone aux Etats-membres ayant un PIB inférieur à 90% de la moyenne européenne.

2. A l'échelle nationale

Le Paquet-Energie-Climat 2030 a été traduit au niveau national dans la Loi 2015-992 du 17 Août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, portée à travers l'article L.100-4-I du Code de l'Energie. La politique énergétique nationale a ainsi pour objectifs :

- De **réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030** et de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 ;
- De **réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050** par rapport à la référence 2012, en visant un objectif intermédiaire de **20 % en 2030** ;

- De **réduire la consommation énergétique primaire des énergies fossiles de 30 % en 2030** par rapport à l'année de référence 2012, en modulant cet objectif par énergie fossile en fonction du facteur d'émissions de gaz à effet de serre de chacune,
- De **porter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % de cette consommation en 2030**, à cette date, pour parvenir à cet objectif, les énergies renouvelables doivent représenter 40 % de la production d'électricité, 38 % de la consommation finale de chaleur, 15 % de la consommation finale de carburant et 10 % de la consommation de gaz.

La France, s'appuyant sur la **Loi transition énergétique pour la croissance verte**, s'est fixé 2 objectifs principaux :

- **Réduire de 40% ses émissions d'ici à 2030** par rapport à 1990 ;
- **Réduire de 75% ses émissions d'ici à 2050** par rapport à 1990.

Pour atteindre ces objectifs, la France s'est engagée à faire évoluer le mix énergétique :

- **Porter à 32% la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale en 2030 ;**
- **Réduire de 50% la consommation énergétique à l'horizon 2050.**

En conséquence, des orientations stratégiques à court terme ont été définies afin de mettre en œuvre une transition vers une économie bas-carbone dans tous les secteurs d'activités :

- **Réduction de 54% des émissions dans le secteur du bâtiment** : bâtiment à très basse consommation, rénovation énergétique, écoconception, compteurs intelligents ;
- **Réduction de 29% des émissions dans le secteur des transports** : amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules, développement des véhicules propres ;
- **Réduction de 12% des émissions dans le secteur de l'agriculture** : méthanisation, couverture des sols, maintien en prairie, agroforesterie, optimisation des apports d'intrants ;
- **Réduction de 24% des émissions dans le secteur de l'industrie** : efficacité énergétique, économie circulaire (réutilisation, recyclage, récupération d'énergie), énergies renouvelables ;
- **Réduction de 33% des émissions dans le secteur de la gestion des déchets** : réduction du gaspillage alimentaire, écoconception, lutte contre l'obsolescence programmée, réemploi et meilleure valorisation des déchets.

Par la suite, la **Loi relative à l'énergie et au climat** promulguée en 2019 fixe l'objectif de **neutralité carbone en 2050**. Les principales mesures introduites sont :

- La **sortie progressive des énergies fossiles** et le **développement des énergies renouvelables** passant notamment par :
 - o Une **réduction de 40% de la consommation d'énergie fossile** par rapport à 2012 d'ici 2030 ;
 - o L'installation obligatoire de **panneaux photovoltaïques** sur tout nouvel **entrepôt, supermarché** d'au moins 1 000 m² et d'**ombrières** sur les **aires de stationnement** ;
 - o Le soutien aux **projets photovoltaïques et géothermiques**.
- La lutte contre les **passoires thermiques** ;
- L'instauration de **nouveaux outils de pilotage, de gouvernance et d'évaluation** de la politique climatique ;
- La **régulation du secteur de l'électricité et du gaz**, notamment la fin du tarif réglementé du gaz naturel en 2023 et la diversification du mix électrique.

La **Loi climat et résilience** promulguée en 2021 crée ou renforce plusieurs dispositifs par l'objectif de **zéro artificialisation nette (ZAN)**, la création des **zones à faibles émissions (ZFE)**, et l'**interdiction échelonnée des passoires thermiques**. Elle introduit notamment l'objectif de

diminution d'ici 2030 des émissions de gaz à effet de serre de la France d'au moins **40 %** par rapport à 1990. Elle prévoit en outre :

- L'interdiction des publicités pour les énergies fossiles ;
- L'obligation d'installer une **toiture végétalisée** ou solaire pour les **surfaces commerciales ou de bureaux** nouvellement construites de plus de **500 m²**.

La **Loi relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables** (dite Loi APER) promulguée en 2023, fait suite à la crise énergétique mondiale de 2021-2023 résultant de la pandémie de Covid-19 et de l'invasion de l'Ukraine par la Russie. Elle vise à **simplifier et accélérer la production d'énergies renouvelables** à l'échelle nationale par différentes mesures, dont :

- La possible identification par les communes de **zones d'accélération (ZAEEnR)** pour l'implantation d'installations terrestres de production d'énergies renouvelables ;
- L'obligation pour tout **parc de stationnement extérieur d'une superficie supérieure à 1500 m²** et existant au 1er juillet 2023 d'être équipé **d'ombrières de production d'énergies renouvelables** sur au moins **la moitié de sa superficie** à partir du 1^{er} Juillet 2026 ou 1^{er} Juillet 2028 selon les cas, sous peine de sanctions.
- L'obligation pour les **bâtiments commerciaux, industriels, artisanaux, administratifs, de bureaux, d'entrepôt, de santé, de sport, de loisirs, scolaires, parkings couverts**, ayant une emprise au sol de **plus de 500 m²** d'intégrer un **procédé de production d'énergies renouvelables ou de végétalisation** à partir du 1^{er} Janvier 2028, à l'exception des bâtiments ayant des contraintes particulières

3. A l'échelle locale

Différents outils ont été mis en place en France au niveau local pour établir des objectifs et des programmes d'actions de réduction des consommations d'énergie et de développement des énergies renouvelables.

Les **Schéma Régionaux Climat Air Energie (SRCAE)** créés par les lois Grenelle I et II suite au Grenelle de l'Environnement de 2007. Ces documents établis par l'Etat et la région **déclinent à l'échelle régionale la législation européenne**. Ils intègrent notamment les **schémas éoliens** et les **schémas de service collectifs de l'énergie**. Depuis la loi NOTRe de 2015, les SRCAE sont **intégrés dans les Schémas Régionaux d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires (SRADDET)**.

Les **Plans Climat Air Energie Territoriaux (PCAET)** ont pris en 2016 la suite des Plans Climat Energie Territoriaux (PCET) en intégrant les enjeux de qualité de l'air. Ils sont obligatoires pour les **EPCI de plus de 20 000 habitants**. Ces outils déclinent et mettent en œuvre à l'échelle de leurs territoires les objectifs tant internationaux que nationaux relatifs à la **qualité de l'air**, à **l'énergie** et au **climat**. Ils définissent des **objectifs stratégiques et opérationnels** pour atténuer le changement climatique, lutter contre, s'y adapter par le développement des énergies renouvelables, la maîtrise des consommations énergétiques, la réduction des GES et de la dépendance énergétique.

Les **Agenda 21** sont des plans d'actions mis en place par les **collectivités territoriales** au niveau international. Ils sont nés suite au sommet de la Terre à Rio, en 1992. Ces **outils d'aide à la décision** formulent des recommandations dans l'ensemble des champs du développement durable, en lien avec le climat. Ils n'ont toutefois **pas de valeur prescriptive**.

B. Evolution de la réglementation thermique en France

La **Réglementation Thermique (RT)**, en France, encadre la **consommation d'énergie des constructions neuves** en France. Elle fixe ainsi une limite maximale aux consommations d'énergies des bâtiments neufs pour le chauffage, la ventilation, la climatisation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage.

1. De la RT74 à la RT2005

La première réglementation thermique est entrée en vigueur suite au décret du 10 Avril 1974, en conséquence du premier choc pétrolier de 1973. La **RT74** impose alors l'**isolation des parois** et un **réglage automatique des installations de chauffage** en vue de limiter les consommations énergétiques. Elle introduit la notion de « **coefficient G** » des déperditions thermiques par les parois du bâti. La RT74 impose au nouveau bâti des objectifs de réduction des consommations énergétiques à **225 kWh/m²/an**, les constructions construites entre 1950 et 1973 ayant des consommations moyennes de estimées à 300 kWh/m²/an (soit une réduction de 25% des consommations énergétiques).

Suite au deuxième choc pétrolier de 1979, la **RT82** entre en vigueur en 1982 qui vise à poursuivre la réduction des consommations en chauffage des logements neufs. L'objectif est de réduire les consommations énergétiques de 20% par rapport à la RT74 (objectif ramené à **170 kWh/m²/an**).

Suit la **RT88**, qui intègre les besoins de chauffage mais aussi l'**eau chaude sanitaire**. Suite au Sommet de Rio (1992) et au Protocole de Kyoto (1997), est introduite la **RT2000** qui ramène les objectifs de consommation à **130 kWh/m²/an**, puis la **RT2005** qui ramène ces objectifs jusqu'à **80 kWh/m²/an** et introduit **5 labels de performance** énergétique. Elle est suivie en 2012 par la **RT2012**, qui est toujours la réglementation en vigueur en Avril 2020.

2. La RT2012

La RT2012, tout comme les précédentes réglementations thermiques, a pour objectif de limiter les consommations énergétiques des bâtiments neufs aussi bien pour l'habitat (résidentiel) que pour les autres usages (tertiaire). Elle fixe des **exigences de résultats** selon 3 types :

- **Efficacité énergétique** du bâti, ou **besoin bioclimatique (Bbio)**, représentant l'efficacité énergétique du bâti ;
- **La consommation énergétique** du bâtiment, ou **Consommation d'énergie primaire (Cep)**
- Respect du **confort en été**, introduit par la notion de **Température intérieure conventionnelle (Tic)**.

La RT2012 est applicable à toutes les demandes de permis de construire déposées :

- Depuis 2011 pour les **bâtiments neufs** du secteur **tertiaire** et du **public** (enseignement, petite enfance...) ;
- Depuis Mars 2012 pour les bâtiments à **usage d'habitation** construits en **zones ANRU** (périmètres de rénovation urbaine).
- Depuis le 1er Janvier 2013, pour **tous les autres types de bâtiments neufs** (bâtiments d'habitation en dehors des zones de rénovation urbaine par exemple).

- **L'efficacité énergétique du bâti Bbio :**

L'exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti est définie par le **coefficient Bbio** correspondant **besoins bioclimatiques** du bâti. Elle induit une limitation simultanée du besoin en énergie pour les composantes liées à la **conception du bâti** (chauffage, refroidissement et éclairage), imposant ainsi son optimisation **indépendamment des systèmes énergétiques** mis en œuvre.

Le Bbio, coefficient sans unité, se calcule par la formule :

$$Bbio = 2 \times \text{Besoin en Chauffage} + 2 \times \text{Besoin en Refroidissement} + 5 \times \text{Besoin en éclairage}$$

Il existe plusieurs **leviers** pour limiter ce coefficient :

- Réduire les **besoins en chauffage** :
 - En optant pour une conception bioclimatique (voir annexes) ;
 - En augmentant l'épaisseur d'isolant ;
 - En traitant les ponts thermiques, sources importantes de déperditions ;
 - En optant pour des menuiseries de qualité, en insistant sur une mise en œuvre soignée (triple vitrage).
- Réduire le **besoin en éclairage** :
 - En optimisant l'éclairage naturel ;
 - En optant pour des systèmes économes en énergie (LED) ;
- Réduire le **besoin en refroidissement** :
 - En intégrant des protections solaires ;
 - En tirant parti de l'effet de l'ombre portée des arbres ;
 - En améliorant l'inertie du bâti.

- **Consommation d'énergie primaire Cep :**

Le Cep représente la **consommation conventionnelle d'énergie primaire** d'un projet, portant sur les consommations de **chauffage**, de **refroidissement**, d'**éclairage**, de **production d'eau chaude sanitaire** et d'**auxiliaires** (pompes et ventilateurs).

Avec la RT2012, toutes les constructions neuves doivent désormais atteindre une **consommation d'énergie primaire** (avant transformation et transport) inférieure à **50 kWh/m²/an**, modulé selon la localisation géographique, l'altitude, le type d'usage du bâtiment, la surface moyenne et les émissions de gaz à effet de serre pour le bois énergie et les réseaux de chaleur les moins émetteurs de CO₂.

Le Cep est la somme des consommations d'énergie primaire par an d'un bâtiment :

$$Cep = \text{Conso d'énergie primaire par an de (Chauffage + Climatisation + Eau Chaude sanitaire + Éclairage + Auxiliaires)} - \text{production photovoltaïque (limité à 12 kWhEp/m²/an)}$$

Différents **leviers** permettent de diminuer le Cep :

- Optimiser le coefficient Bbio, et **réduire ainsi les besoins en énergie** du bâti ;
- Mettre en œuvre des **systèmes de production d'énergie à haut rendement** (pompes à chaleur par exemple) ;
- Développer la **production d'énergies renouvelables** (panneaux solaires par exemple).

- **Confort d'été :**

La Tic correspond à la **température atteinte au cours d'une période de cinq jours chauds**, sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement. Ce coefficient est défini à partir

d'une étude thermique et doit respecter une limite de référence fixée en fonction de la zone climatique.

Plusieurs **leviers** existent pour limiter la Tic :

- Augmenter l'**inertie du bâtiment** par la mise en œuvre de **matériaux lourds** (pierre, béton, brique, parpaing par exemple) permettant d'emmagasiner une quantité importante d'énergie en vue de **déphaser le pic de chaleur** interne plus tard dans la journée lorsqu'il est possible d'évacuer la chaleur ;
- Favoriser l'**éclairage naturel** ;
- En mettant en place des **protections solaires** sur les surfaces exposées au soleil en période estivale ;
- En traitant les **ponts thermiques**.

3. La RE2020

Le respect des engagements pris dans la lutte contre le changement climatique, 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. La **nouvelle réglementation environnementale** des bâtiments neufs (dite **RE2020**) adoptée en 2022 est issue de la loi « Evolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique » (ELAN).

Les **objectifs** de la RE2020 sont :

- 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 Bbio.
- Une meilleure prise en compte du **confort d'été** : les bâtiments devront **mieux résister aux épisodes de canicule**, qui seront plus fréquents et intenses du fait du changement climatique.
- La **diminution significative des émissions de carbone** du bâtiment en considérant l'ensemble du **cycle de vie** du bâti (construction et déconstruction incluses). 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.

La RE2020 repose sur une **transformation progressive** des techniques de construction, des filières industrielles et des solutions énergétiques, afin de maîtriser les coûts de construction et de garantir la montée en compétence des professionnels.

o **Renforcement de l'indicateur Bbio**

L'indicateur sur les besoins énergétiques **Bbio** se trouve maintenu, mais le seuil réglementaire est **plus ambitieux** : le périmètre de calcul intègre désormais les **besoins de froid** du bâti.

o **Renforcement de l'indicateur Cep**

L'indicateur sur les consommations énergétiques **Cep est également maintenu** en vue de comptabiliser la quantité d'énergie nécessaire pour couvrir les besoins du bâtiment. Là aussi, le principe est conservé, mais **les exigences sont renforcées** : sont désormais pris en compte les consommations nécessaires au **déplacement des occupants** à l'intérieur du bâtiment (ascenseurs) des **parkings** (éclairage, ventilation le cas échéant) et les consommations d'électricité des circulations en logement collectif pour l'**éclairage**. Toutefois, l'export d'énergie produite par le bâtiment est exclu. A noter que le coefficient de conversion énergie primaire de l'électricité est revu de 2,58 à 2,3 par rapport à la RT2012.

o **Coefficient d'énergie primaire non renouvelable Cep,nr**

La RE2020 introduit un **nouveau coefficient** d'énergie primaire non renouvelable **Cep,nr** traduisant les consommations en énergie primaire non renouvelable du bâtiment. Cet indicateur vise à inciter au recours aux énergies renouvelables. Les postes de consommations sont identiques au Cep, mais le calcul se focalise sur les **consommations en énergie primaire non renouvelable** seulement.

o **Indicateurs IC_{énergie} et IC_{construction} traduisant l'impact sur le changement climatique**

La réglementation RE2020 conduit à introduire l'**indicateur IC_{énergie}** en vue d'évaluer l'**impact sur le changement** climatique de la consommation des énergies **pendant l'utilisation** du bâtiment sur toute sa durée de vie (soit 50 ans), en kgCO₂/m².

L'**indicateur IC_{construction}** évalue quant à lui les émissions des produits de construction et des équipements au cours du chantier, en kgCO₂/m².

Ainsi, la RE2020 conduit à considérer l'analyse de la consommation d'énergie sur l'ensemble du **cycle de vie** du bâti.

La **RE2025** introduit des **objectifs de consommation d'énergie plus contraignants** que la RE2020. Toutes les typologies de bâtiments voient leurs **seuils abaissés**, avec une exigence renforcée de l'ordre de **15%** par rapport à ceux de la RE2020. Les maîtres d'ouvrage doivent avoir recours à des matériaux moins carbonés, comme les **matériaux biosourcés** ou les matériaux issus du **réemploi** ou du **recyclage**. Les **constructions mixtes** (bois-béton, bois-acier...) apparaissent des solutions à privilégier.

Usage de la partie de bâtiment et énergie utilisée	Valeur de IC _{énergie} - maxmoyen		
	Années 2022 à 2024	Années 2025 à 2027	À partir de l'année 2028
Maisons individuelles ou accolées à un réseau de chaleur urbain	200 kq éq. CO ₂ /m ²	200 kq éq. CO ₂ /m ²	160 kq éq. CO ₂ /m ²
Maisons individuelles ou accolées - autres cas	160 kq éq. CO ₂ /m ²	160 kq éq. CO ₂ /m ²	160 kq éq. CO ₂ /m ²
Logements collectifs raccordés à un réseau de chaleur urbain	560 kq éq. CO ₂ /m ²	320 kq éq. CO ₂ /m ²	260 kq éq. CO ₂ /m ²
Logements collectifs - autres cas	560 kq éq. CO ₂ /m ²	260 kq éq. CO ₂ /m ²	260 kq éq. CO ₂ /m ²
Bureaux raccordés à un réseau de chaleur urbain	280 kq éq. CO ₂ /m ²	200 kq éq. CO ₂ /m ²	200 kq éq. CO ₂ /m ²
Bureaux - autres cas	200 kq éq. CO ₂ /m ²	200 kq éq. CO ₂ /m ²	200 kq éq. CO ₂ /m ²
Enseignement primaire ou secondaire raccordés à un réseau de chaleur urbain	240 kq éq. CO ₂ /m ²	200 kq éq. CO ₂ /m ²	140 kq éq. CO ₂ /m ²
Enseignement primaire ou secondaire - autres cas	240 kq éq. CO ₂ /m ²	140 kq éq. CO ₂ /m ²	140 kq éq. CO ₂ /m ²

Usage de la partie de bâtiment	Valeur de IC _{construction} - maxmoyen			
	2022 à 2024	2025 à 2027	2028 à 2030	À partir de 2031
Maisons individuelles ou accolées	640 kq éq. CO ₂ /m ²	530 kq éq. CO ₂ /m ²	475 kq éq. CO ₂ /m ²	415 kq éq. CO ₂ /m ²
Logements collectifs	740 kq éq. CO ₂ /m ²	650 kq éq. CO ₂ /m ²	580 kq éq. CO ₂ /m ²	490 kq éq. CO ₂ /m ²
Bureaux	980 kq éq. CO ₂ /m ²	810 kq éq. CO ₂ /m ²	710 kq éq. CO ₂ /m ²	600 kq éq. CO ₂ /m ²
Enseignement primaire ou secondaire	900 kq éq. CO ₂ /m ²	770 kq éq. CO ₂ /m ²	680 kq éq. CO ₂ /m ²	590 kq éq. CO ₂ /m ²

Illustration n°2 : L'évolution des seuils pour l'IC Energie et l'IC Construction (source : actu-environnement.fr)

Les bâtiments construits dans le cadre de la présente opération seront amenés à devoir respecter la RE2025. Celle-ci tiendra lieu de référence pour estimer les besoins en énergie dans la présente étude.

C. Les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergies dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérés comme inépuisables à l'échelle du temps humain.

Cette notion regroupe les énergies **éolienne, solaire, géothermique, houlomotrice, marémotrice** et **hydraulique** ainsi que l'énergie issue de la **biomasse**. Les flux de **déchets organiques** issus de l'activité économique et pouvant donner lieu à une **valorisation énergétique** (déchets de l'agriculture et d'exploitation forestière, part fermentescible des déchets industriels et des ordures ménagères) sont également considérés comme énergies renouvelables.

Les différentes énergies renouvelables mentionnées ci-dessus sont détaillées en annexe de la présente étude.

D. Contexte énergétique en région Bretagne

Il apparaît intéressant de mieux cerner les besoins en énergie, les capacités de production et les sources d'énergie au niveau régional afin d'apprécier les enjeux liés à l'énergie du territoire sur lequel s'étend le projet.

1. Consommation d'énergie finale

En 2018, la **consommation d'énergie finale** corrigée du climat en Bretagne était de **81,5 TWh**, soit 4,5% de la consommation nationale. Cela revient à une **consommation finale par habitant de 25 MWh**, contre une moyenne nationale de 28 MWh. D'une manière générale, on observe une **baisse de la consommation de produits pétroliers** au profit du gaz et de l'électricité.

La **prédominance de l'habitat individuel** sur l'habitat collectif explique que les **produits pétroliers** soient davantage utilisés que le gaz. D'une manière générale, les produits pétroliers sont le type d'énergie le plus utilisé en Bretagne. Leur consommation est essentiellement liée aux **transports**.

PAR TYPE D'ÉNERGIE

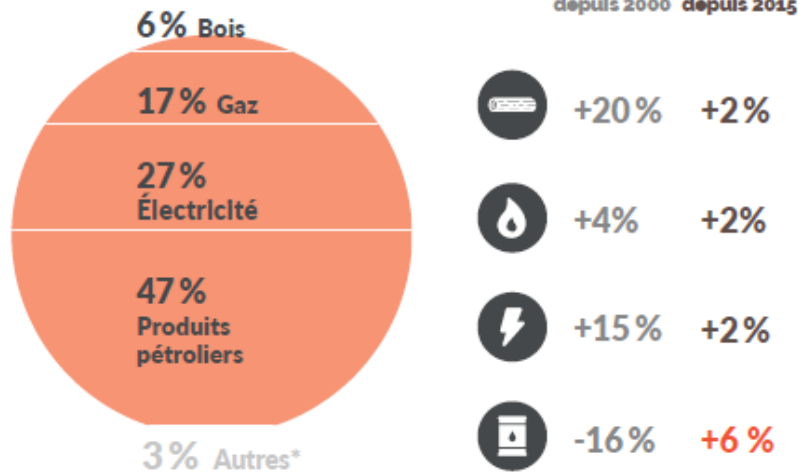


Illustration n°3 : Consommation d'énergie finale par habitant en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)

La **consommation importante** d'électricité en Bretagne contraste avec sa **faible production**. Ainsi, en 2014, seulement **11,7% des besoins en électricité** étaient couverts par la **production régionale** (dont **87%** produits à partir d'**énergies renouvelables**). **Ce constat est un point critique pour la région qui peut se retrouver en pénurie d'électricité lors de périodes de grands froids, lors des fortes pointes.**

D'une manière générale, la **puissance appelée en pointe ne cesse d'augmenter** ces dernières années du fait de l'augmentation des installations électriques (pompes à chaleur comprises). Ainsi, l'appel de puissance maximale sur le réseau fut de 5 163 MW en 2018.

En 2015, la **consommation d'énergie finale totale** de la région Bretagne a été estimée à **6,4 Mtep** en considérant les secteurs résidentiels, tertiaires, les transports, l'industrie et l'agriculture. De cette consommation, **90,1% ont été importés, ce qui signifie que seulement 9,9% ont été produits en région Bretagne.**

Cette consommation correspond à **4,2% de la consommation nationale** pour 5,1% de la population. Elle équivaut à **2 tep/habitant/an**, contre une moyenne nationale de 2,3 tep/hab/an. Ainsi, il apparaît que **la Bretagne consomme moins d'énergie que la moyenne nationale.**

2. Consommation d'énergie par secteur

Le **résidentiel et le tertiaire** apparaissent les **plus grands secteurs consommateurs** d'énergie (**44%** cumulés), suivi par les **transports (34%)** et l'industrie (14%). L'agriculture et la pêche ne comptent que pour 8% des consommations en cumulé. Au total, la **facture énergétique régionale atteint 7 milliards d'euros.**

Les énergies les plus utilisées dans le secteur résidentiel et tertiaire sont essentiellement associées au chauffage :

- L'**électricité** ;
- Les **produits pétroliers** (fioul).

PAR SECTEUR

Répartition sectorielle et facture pour l'année 2017 en l'absence de données 2018.

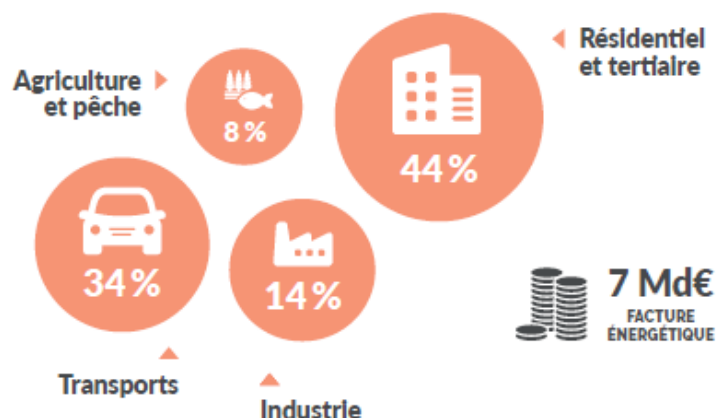


Illustration n°4 : Répartition des consommations par secteurs en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)

La **majorité du parc immobilier** existant en Bretagne étant **antérieur à 1975**, il n'est de ce fait assujéti à aucune réglementation thermique et présente un **potentiel de réhabilitation** important et prioritaire. En 2011, la région Bretagne comptait 35% de ses résidences principales chauffées à l'électricité contre 26,4% au niveau national.

3. Production d'énergie en Bretagne

La **production totale d'énergie finale** en Bretagne atteint **10 TWh en Bretagne** en 2018, soit une hausse de 5% par rapport à 2005. Ce chiffre est à mettre en relation avec les **81,5 TWh consommés cette même année** au niveau régional, traduisant un **taux de couverture global de 12%**. La production d'**énergie thermique** compte pour **61% de la production** totale d'énergie (soit 6,1 TWh), tandis que la **production électrique** compte pour **38% (soit 3,8 TWh)**. La puissance électrique raccordée totale atteint 1 572 MW (soit 3% du parc national), la puissance thermique raccordée totale à 590 MW.

La **production d'énergies renouvelables** compte pour 7,7 TWh, soit **77% de la production** totale régionale. Elle se répartit en 6 grandes filières : éolien, solaire, hydraulique, biogaz, déchets, bois énergie.

La production d'énergie est dominée par la filière **bois énergie** (bois, bûches et granulés, chaufferie au bois déchiqueté), qui compte **45% de la production**. Cette production a été multipliée par 9 entre 2005 et 2018, à mettre en parallèle du développement des chaudières bois-plaquettes.

L'**éolien terrestre** compte également pour **18% de la production** en 2018, soit une production **multipliée par 21 depuis 2005**. La puissance électrique raccordée compte pour 1 014 MW.

La production d'**énergie solaire** ne compte que pour **2% de la production** en 2018, mais cette part a été **multipliée par 86 depuis 2005**. La puissance associée est de 219 MW en électricité et de 35 MW en thermique.

L'**hydroélectricité** compte pour **6% de la production totale**.

A noter le développement récent du **biogaz** dont la production a été multipliée par 18 entre 2005 et 2018, et doublée entre 2015 et 2018, même si sa part est limitée à **4% de la production d'énergie régionale**. La **capacité d'injection de biométhane** annuelle atteint 119 GWh, soit 14MW équivalents, représentant **9% des capacités nationales**.

A noter que la **cogénération gaz** compte pour **18% de la production** en 2018. Cette capacité s'est trouvée doublée entre 2015 et 2018.

PAR FILIÈRE DE PRODUCTION

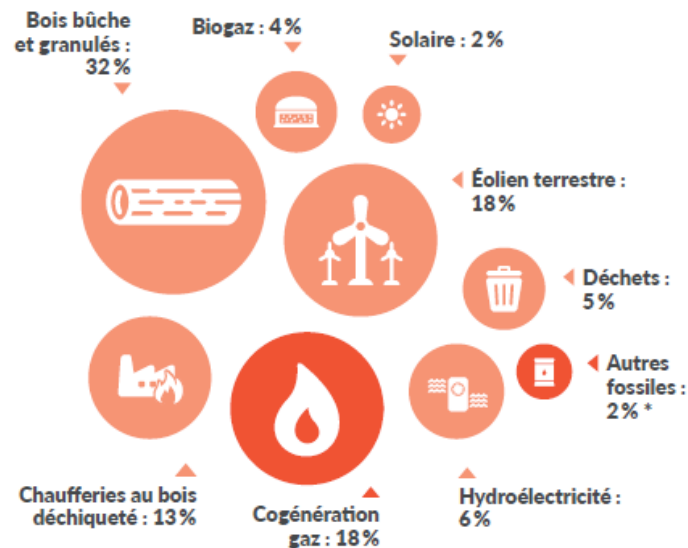


Illustration n°5 : Production d'énergie en Bretagne par filière de production en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)

ÉVOLUTIONS	depuis 2005	depuis 2015
Cogénération gaz	x4	+108%
Bois déchiqueté	x9	+27%
Biogaz	x18	+111%
Éolien terrestre	x21	+9%
Solaire	x86	+19%

Illustration n°6 : Evolution de la production d'énergie en Bretagne par filière de production entre 2005 et 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)

INSTALLATIONS EN FONCTIONNEMENT

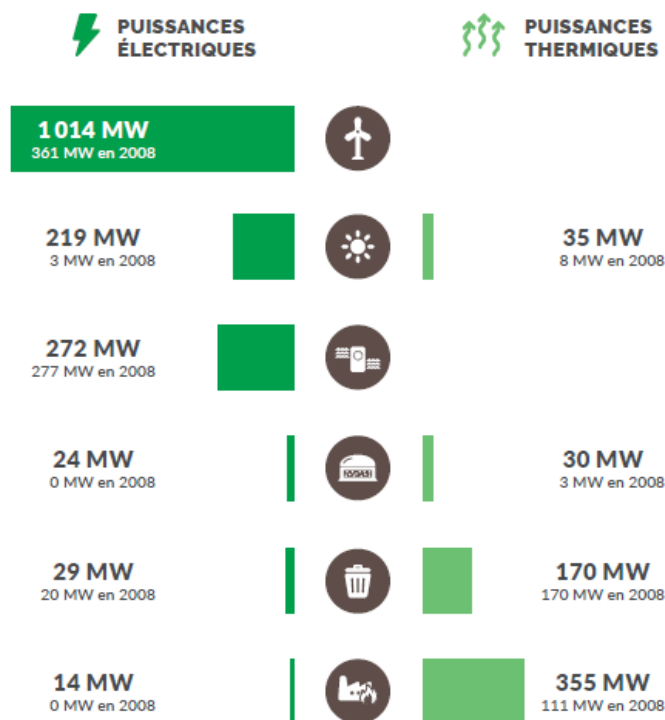


Illustration n°7 : Evolution de la puissance du parc de production d'énergies renouvelables et de récupération en Bretagne en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)

4. Emission de GES

Les **émissions anthropiques annuelles de GES** en région Bretagne sont estimées à environ **25 MteqCO₂** en 2018, soit environ **8 TeqCO₂/habitant**.

Les **émissions énergétiques** comptent pour **4,5 TeqCO₂/habitant**, à **68% liées aux produits pétroliers**. On observe une **baisse des émissions** énergétiques de 19% par rapport à 2005.

Les **émissions non-énergétiques** comptent pour environ **3,3 TeqCO₂/habitant**, elles sont associées à l'**émission de méthane (60%) par l'élevage** et de **protoxyde d'azote (38%)** essentiellement par les **cultures**.

L'**élevage** compte pour **37% des émissions énergétiques**, suivi par les **carburants (26%)** et le **chauffage** du secteur résidentiel-tertiaire (**16%**).

ÉMISSIONS PAR POSTE

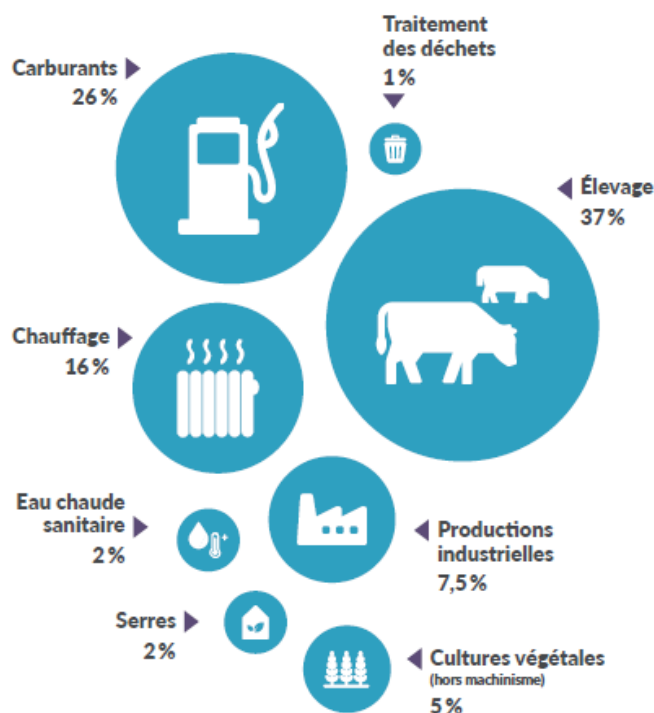


Illustration n°8 : Répartition de émissions de GES par poste en Bretagne en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)

E. Contexte territorial et communal

Différents outils ont été mis en œuvre pour **cadre la politique énergétique** au niveau régional et local, en vue de réduire la dépendance énergétique de la Bretagne vis-à-vis des territoires voisins, notamment en termes de production d'électricité, et de développer le recours aux énergies renouvelables.

1. Pacte électrique breton

Comme précédemment, la Bretagne se trouve régulièrement en situation de **fragilité électrique** lors des périodes fortes consommations (pics de froid en hiver) de par sa situation insulaire et sa **faible production électrique** au regard de sa consommation. Croissance démographique et dynamisme économiques accroissent cette fragilité.

Afin de résoudre les problèmes du réseau électrique en Bretagne, les services de l'Etat, le Conseil Régional, l'Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME), Réseau de Transport de l'Electricité (RTE) et l'Agence Nationale de l'Habitat (Anah) ont signé le 14 Octobre 2010 le **pacte électrique breton**. Celui vise à :

- Une **maîtrise de la demande en électricité** en divisant par trois la croissance de cette demande entre 2010 et 2025. Ceci passe par la **sensibilisation** des acteurs au problématiques de dépendance électrique bretonne et par l'**orientation des choix** d'investissements vers des équipements moins consommateurs d'électricité, notamment pour le **chauffage** ;
- Un important **développement de la production d'énergies renouvelables** en la portant à 3 600 MW en 2020 ;
- Une **sécurisation de l'alimentation électrique** (production et réseaux) avec :

- o Le **renforcement du réseau de transport** d'électricité par la création d'une ligne à haute tension de 225 000 volts entre Lorient et Saint-Brieuc et des dispositifs pour une meilleure gestion du réseau ;
- o La **recherche et développement** sur les **réseaux intelligents** et le **stockage** de l'énergie ;
- o Le développement de la **cogénération** (en 2010, 77 MW) ;
- o L'implantation d'une **centrale à cycle combiné gaz** (CCG) à Landivisiau, d'une puissance de 446 MW.

2. Plan éco-énergie pour la Bretagne

Fort du constat de la forte **dépendance énergétique** de la Bretagne vis-à-vis des apports énergétiques extérieurs à son territoire, l'Etat, l'ADEME et la région Bretagne ont mis en place pour la période 2007-2013 et jusqu'à 2020 un **programme d'action conjoint** axé sur 3 objectifs :

- **Maîtriser la consommation d'énergie** et **développer les énergies renouvelables** sur son territoire ;
- Créer une dynamique d'**éco-responsabilité** au niveau des producteurs comme des consommateurs d'énergie ;
- Améliorer la **connaissance** et favoriser sa **diffusion**.

Les axes d'actions prioritaires sont avant tout :

- Le **soutien** aux collectivités locales, aux entreprises, aux acteurs économiques, aux associations via des **appels à projets**, des aides à la décision, l'élaboration d'**outils méthodologiques** et l'**accompagnement** d'actions exemplaires ;
- La **sensibilisation** du grand public aux modes de consommation et aux comportements responsables en matière d'énergie, notamment par le développement du **réseau des espaces info-énergie** ;
- La création de l'**observatoire de l'énergie et des gaz à effet de serre en Bretagne** en 2009.

3. PCAET de Ploërmel Communauté

Le **Plan Climat-Air-Energie Territorial (PCAET)** est porté par les **collectivités** dont la finalité première est la lutte contre le changement climatique. Il vise deux objectifs :

- Limiter l'impact du territoire sur le climat en **réduisant les émissions de gaz à effet de serre** dans la perspective du **facteur 4** (diviser par 4 les émissions d'ici 2050) ;
- La **réduction de la vulnérabilité** du territoire face au **changement climatique**.

Il définit non seulement les **actions** à mettre en place, mais aussi le **suivi** et l'**évaluation** des résultats obtenus.

Depuis le 1er janvier 2017, la Bretagne compte **59 EPCI**. 49 d'entre eux doivent élaborer un PCAET, dont 34 sont nouvellement obligés depuis janvier 2017. 10 comptent moins de 20 000 habitants et peuvent initier une démarche volontaire pour structurer des actions sur leur territoire.

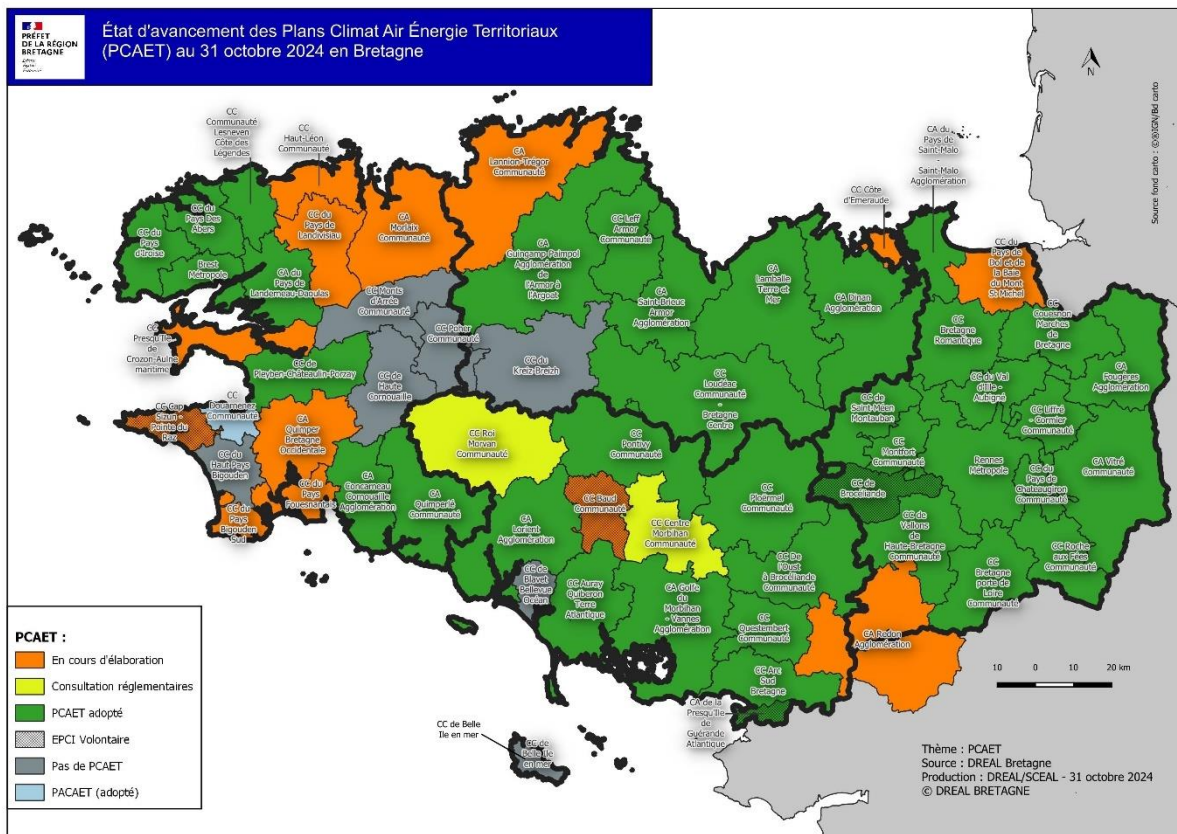


Illustration n°9 : Etat d'avancement des PCAET en Bretagne au 31/10/2024 (source : Région Bretagne, 2025)

Le **PCAET** de Ploërmel Communauté a été arrêté en 2020. Ce document dresse un portrait des **enjeux énergétiques du territoire** et définit un **plan d'action** sur la période 2020-2026 en vue de devenir, à l'horizon 2050, un **Territoire à Energie Positive (TEPOS)**, c'est-à-dire produire davantage d'énergie renouvelables locales qu'il n'y a d'énergie consommée sur le territoire de la collectivité. Outre la **production d'énergie renouvelable**, cela passe par la **sobriété et l'efficacité énergétique**.

- o **Consommations et production d'énergie**

Il apparaît que la **consommation d'énergie finale** du territoire était de **1 300 GWh/an** en 2014, dont **46% liés au transport** (33% pour le transport de personnel, 13% pour le transport de marchandises) et **28% liés au secteur résidentiel**. L'**autonomie énergétique** du territoire était de **17%** (production d'énergie renouvelable), soulignant sa dépendance vis-à-vis des territoires voisins et importations ainsi qu'une **balance déficitaire**. Un des enjeux du territoire est ainsi d'investir dans sa capacité à produire de l'énergie.

L'essentiel de la **production d'énergie renouvelable** sur le territoire (**216 GWh** en 2014) vient de la filière **éolienne terrestre (58%)** et **bois énergie (27%)**, Aucun **réseau de chaleur** n'est identifié sur le territoire.

Consommation d'énergie finale, 2014

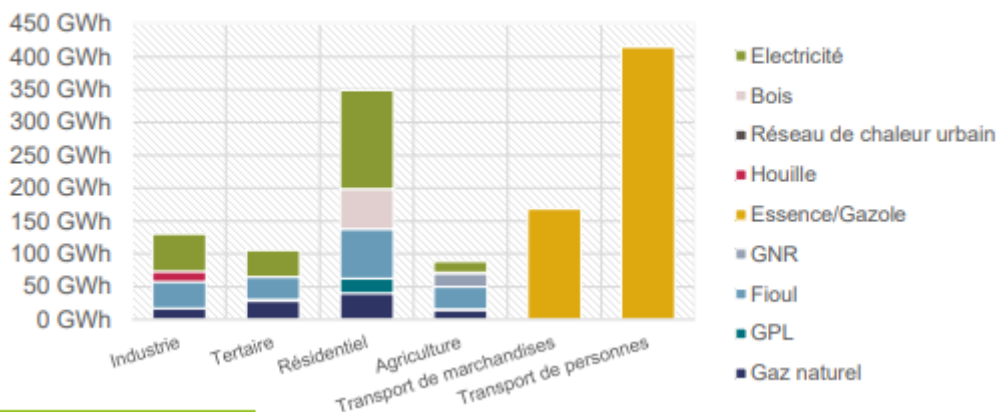


Illustration n°10 : Consommations énergétiques sur le territoire de Ploërmel Communauté en 2014, en énergie finale (Source : PCAET, 2020)

Production d'énergie renouvelable, 2014

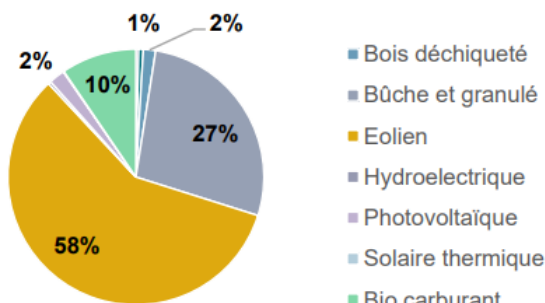


Illustration n°11 : Répartition de la production d'énergie renouvelable sur le territoire de Ploërmel Communauté en 2014 (Source : PCAET, 2020)

o Emissions de gaz à effet de serre

Concernant les **émissions de GES**, le territoire émet 900 000 t eq CO₂ chaque année, soit environ **21 t eq CO₂/habitant/an**. L'**agriculture (43% des émissions)** et les **transports (28% des émissions)** sont les secteurs les plus impactants.

Bilan des émissions de gaz à effet de serre, 2014

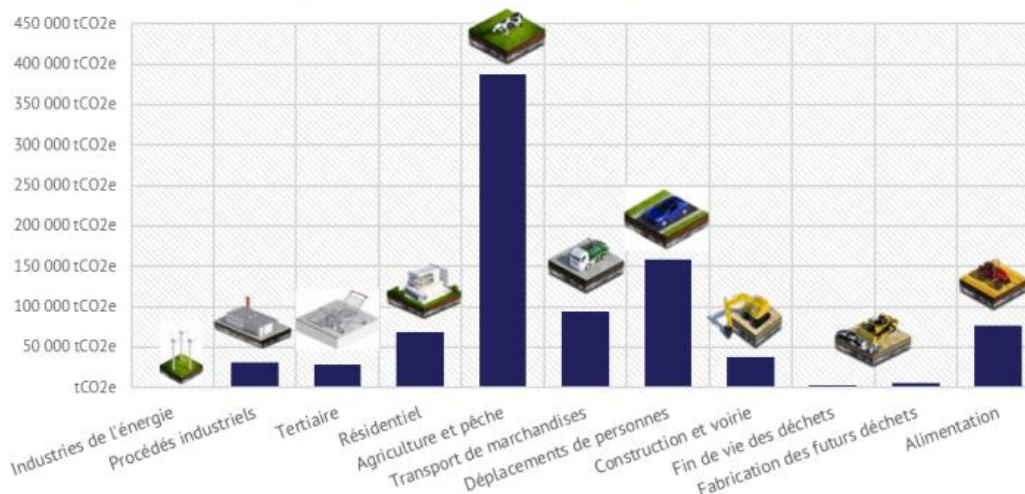


Illustration n°12 : Répartition des émissions de GES (source : PCAET, 2020)

o **Pollution**

Le territoire n'est pas particulièrement exposé aux pollutions atmosphériques. La forte **activité agricole** sur le territoire se traduit par des émissions importantes en **particules (PM)**, en **oxydes d'azote (Nox)** et surtout en **ammoniac (NH3)**.

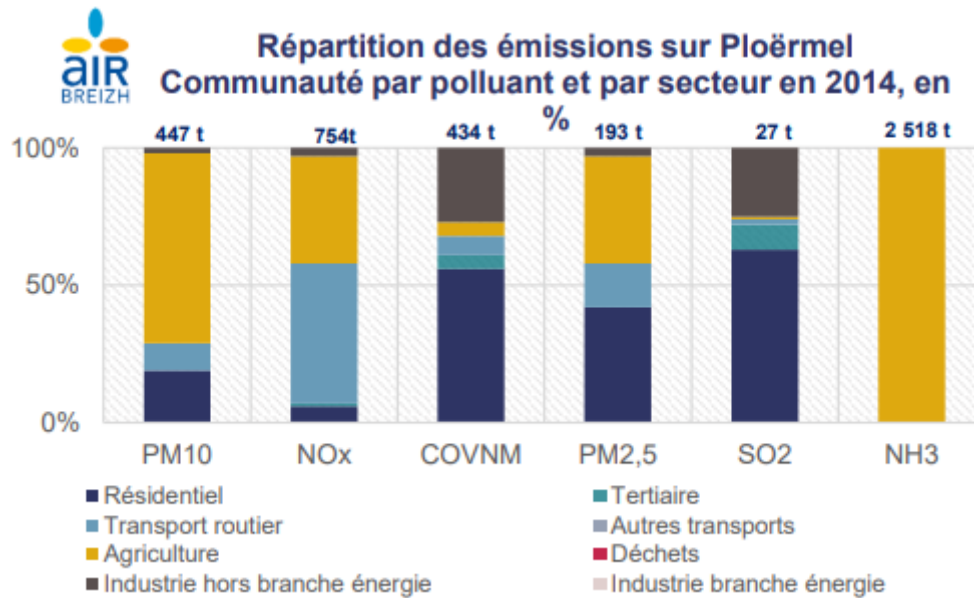


Illustration n°13 : Répartition des émissions du territoire en 2014 par polluant (source : PCAET, 2020)

o **Capacité d'absorption du carbone du territoire**

Le territoire bénéficie d'une importante surface non urbanisée, avec 57 % du territoire occupée par des vergers et cultures, 26% par des forêts, et 15 % par des prairies. Ceci lui permet de capitaliser un **puits de CO₂** de près de **18 000 ktCO₂e** (sol et végétaux).

o **Potentiel de réduction des consommations énergétiques**

Le PCAET fixe un **objectif de réduction de 44% les consommations d'énergie** du territoire entre 2014 et 2050, soit une baisse de 49% par rapport au scénario tendanciel.

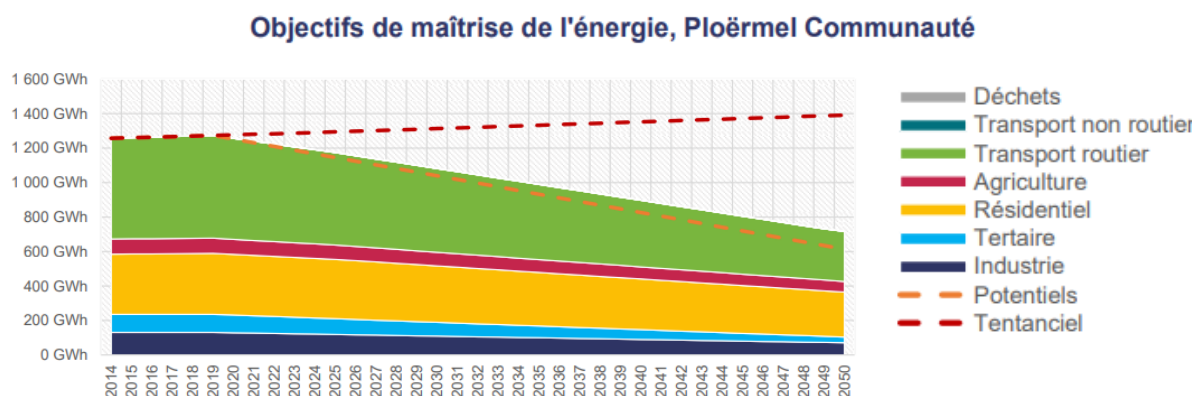


Illustration n°14 : Objectifs de maitrise de l'énergie (source : PCAET, 2020)

Ceci passe notamment la **rénovation énergétique** du bâti, la **réduction des besoins en déplacements** et le **report modal** (transports en commun, covoiturage) en s'appuyant l'implication de l'**ensemble des acteurs** du territoire (entreprises et citoyens).

- **Potentiel de développement des énergies renouvelables**

Le productible atteignable en énergie renouvelable pour Ploërmel Communauté s'élève à 995 GWh. Ce productible atteignable représente environ 5 fois la production en 2020. Le productible atteignable est significatif sur le territoire avec, par ordre d'importance) :

- Eolien (44%),
- Solaire photovoltaïque (18%),
- Méthanisation (18%),
- Biomasse – bois énergie (7%),
- Géothermie et aérothermie (5%),
- Solaire thermique (4%),
- Energie de récupération (3%),
- Hydroélectricité (moins de 1%).

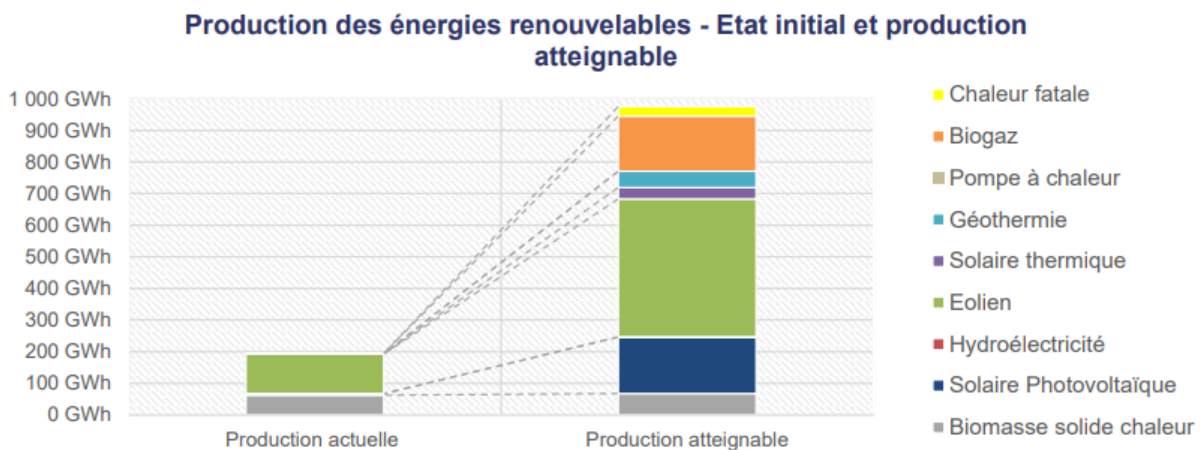


Illustration n°15 : Potentiel de production des énergies renouvelables sur le territoire (source : PCAET, 2020)

- **Plan d'action**

Le plan d'action du PCAET s'articule autour de 5 axes stratégiques présentés sur le schéma à suivre.

Il passe notamment par :

- La réduction des consommations d'énergie :
 - Réduction de la place du véhicule individuel ;
 - Rénovation du parc résidentiel et tertiaire ;
 - Mise en place d'une démarche d'écoconception et d'écologie industrielle,
- Le développement des énergies renouvelables :
 - Développement de la filière bois-énergie ;
 - Développement du photovoltaïque (bâti, stationnement, délaissé) ;
 - Développer le solaire thermique ;
 - Installer les parcs éoliens actuellement en projet ;
 - Mobiliser l'ensemble du gisement méthanisable ;
 - Développer la récupération de chaleur fatale.
- La réduction des émissions de GES :

- o Développement des véhicules fonctionnant au bio GNV, à l'électricité ou à l'hydrogène ;
 - o Adaptation des pratiques agricoles pour réduire la part des engrais minéraux et réduire la teneur en protéine de l'alimentation animale ;
 - o Développer le stockage du carbone via l'agro foresterie et la plantation de haies bocagères ;
- L'amélioration de la qualité de l'air.

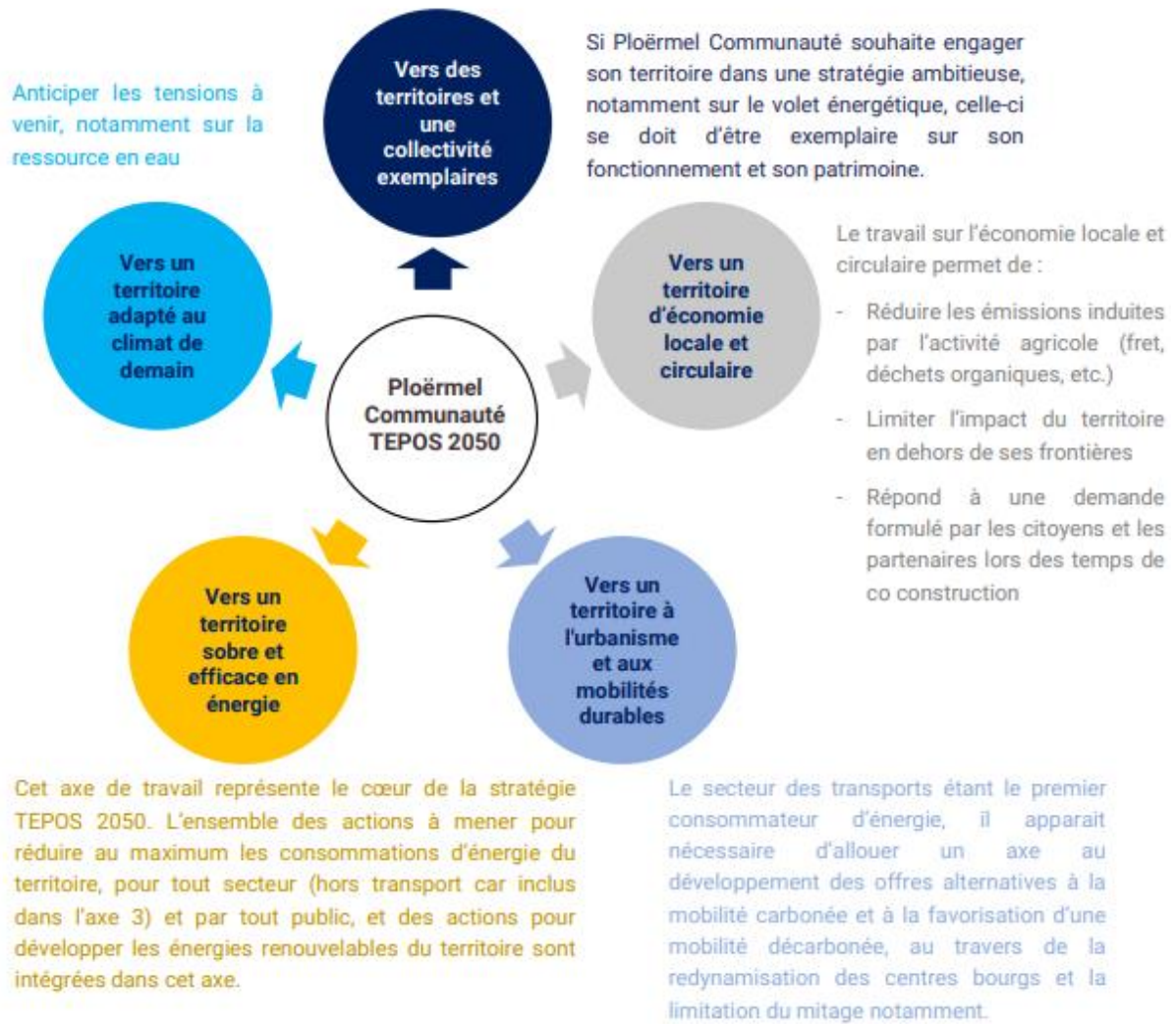


Illustration n°16 : Axes stratégiques du PCAET de Ploërmel Communauté (source : PCAET, 2020)

4. Conclusion

Du fait du contexte de **forte dépendance de la région Bretagne en énergie**, l'**analyse du potentiel de développement des énergies renouvelables** au sein de son territoire apparaît **nécessaire** afin d'améliorer la situation énergétique. Si cette **dynamique** a été bien amorcée depuis des années par le développement de la filière bois, de la filière biogaz et éolien, il apparaît nécessaire de la **conforter** notamment dans le cadre des **projets d'aménagements** pour atteindre les objectifs fixés par le PCAET à l'horizon 2050.

Présentation du projet

F. Localisation du projet

Le projet d'aménagement « **Bois Vert 3** » s'étend en continuité d'urbanisation à l'**Est de la ville de PLOËRMEL, dans la continuité du Parc d'Activités de Bois Vert existant**. Le secteur destiné à être aménagé est identifié depuis 2013 au travers du Plan Local d'Urbanisme comme étant destiné à l'**extension de la zone d'activité**. Le site est aujourd'hui occupé par des terres agricoles bordées de haies et boisements.

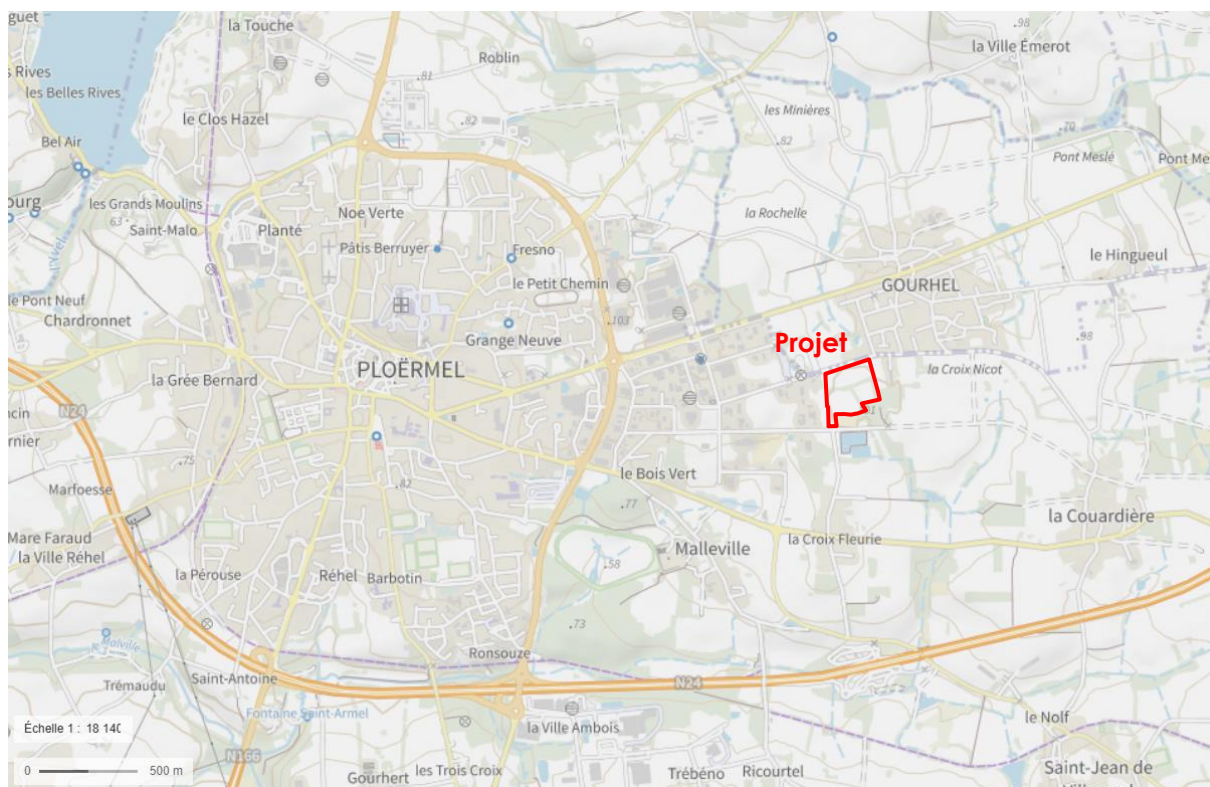


Illustration n°17 : Localisation du projet au niveau communal (source : IGN, Géoportail)

Le projet concerne les parcelles section ZO 139p, 174p, 181 et 183p pour une contenance totale avoisinant **6,7 ha**. Le site du projet est desservi au Nord par le chemin du Paradis et au Sud par la rue Gilles Roberval se raccordant sur la **zone d'activité existante**, reliant la **RN24** via la RD766E contournant le centre-ville par l'Est.

G.Topographie

La commune de Ploërmel s'étend au Nord-Est du Morbihan, au sein d'un territoire façonné par les collines et vallées.

La rivière de l'Oust borde la limite Sud de la commune et plusieurs de ses affluents (l'Yvel, le Ninian) traversent la commune, formant des vallées encaissées. Sur la commune, l'altitude varie ainsi de 40 m NGF à 130 m NGF au-dessus du niveau de la mer.

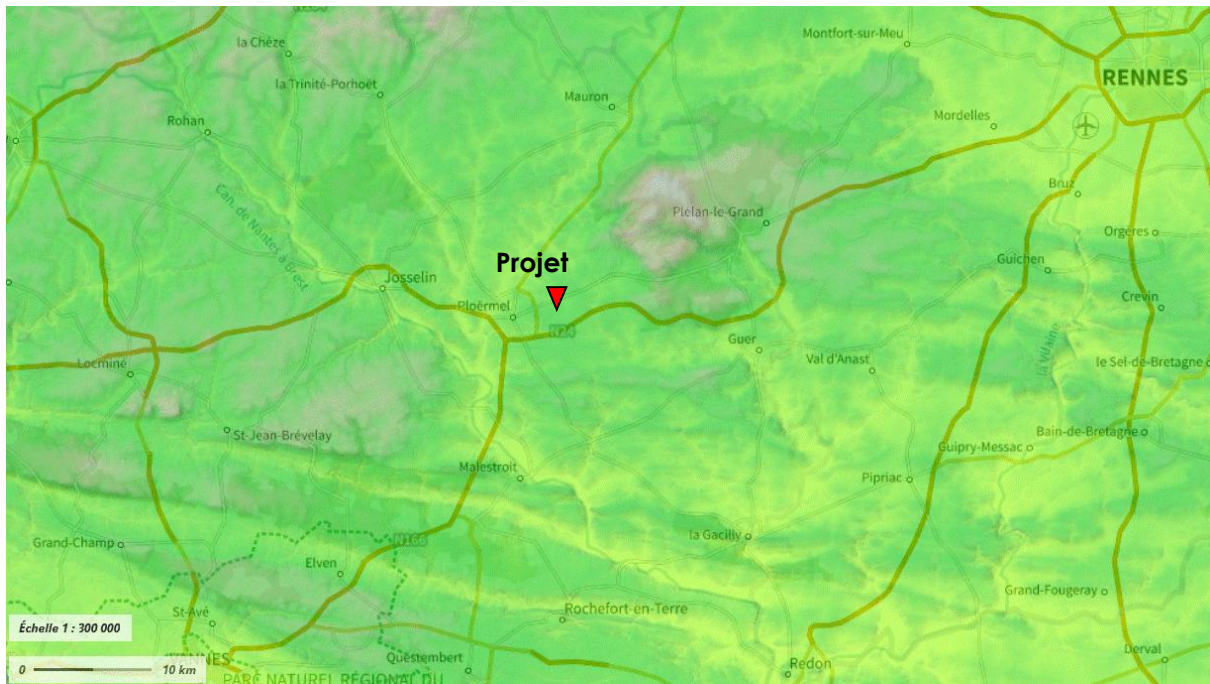


Illustration n°18 : Topographie du secteur (source : Géoportail)

Le site étudié est situé sur un plateau agricole à l'Est de la commune. Il s'étend sur un point haut, le terrain naturel atteint ainsi 102 m NGF en parti Est et 93,5 m NGF au point bas, au Sud-Est.

Le site présente des pentes globales peu marquées (1,5 à 2%) rayonnant du centre vers les points bas situés au Nord et au Sud.

Le site d'étude est localisé sur un point haut et présente une topographie douce n'amenant pas de contraintes particulières.

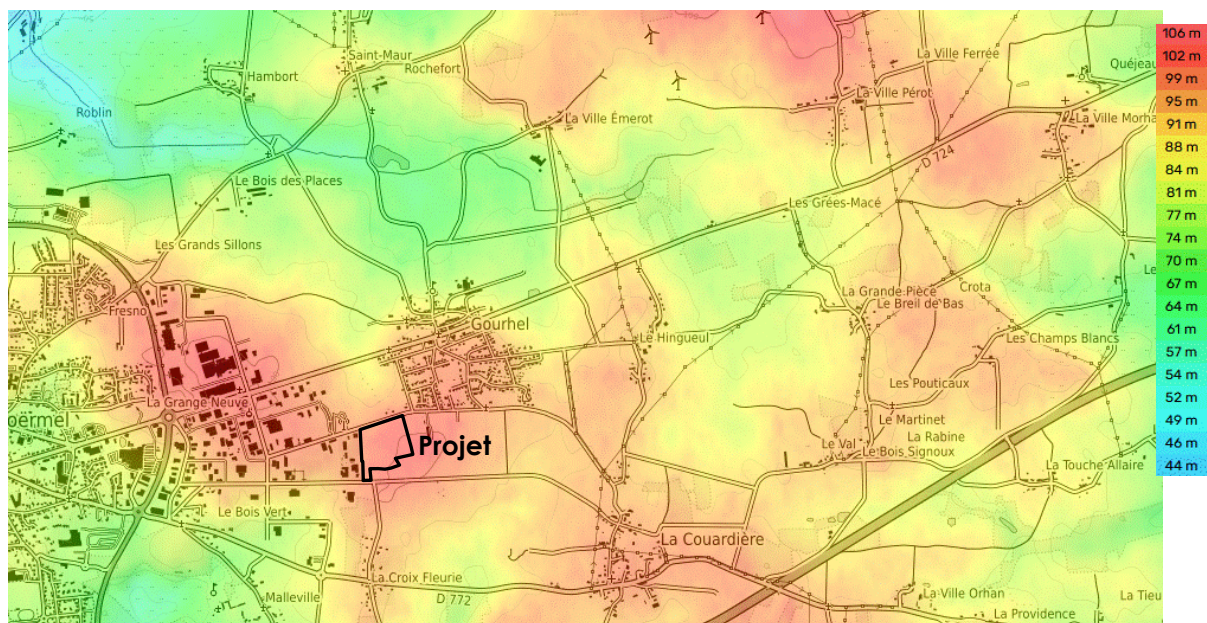


Illustration n°19 : Topographie globale à l'Est de la commune de Ploërmel (sources: Elevation Database, OpenStreetMap, OpenTopoMap)



Illustration n°20 : Topographie du site, sur la base du lever topographique (sources : ORIGAMI, GBS)

H. Éléments paysagers

Le périmètre d'étude correspond à un **maillage de milieux agro-naturels** assez anthropisés s'inscrivant à l'interface entre la tâche urbaine (parc d'activité de Bois Vert, à l'Ouest, mais également bourg de Gourhel au Nord-Est, centre de stockage pyrotechnique au Sud-Est).

On identifie ainsi différents milieux au sein du périmètre d'étude :

- Des **grandes emprises agricoles cultivées** ou maintenues en prairies sur les parties Nord et Est. On note l'existence d'un ancien double talus traversant les emprises cultivées à l'Ouest. Ce double talus est sans usage aujourd'hui car déconnecté de la trame viaire. Sur la partie Est, les emprises agricoles présentent un caractère humide et évoluent en friche (voir partie précédente).
- Des **boisements** plus ou moins dominés par les résineux, pour partie sur des remblais liés à l'aménagement de la zone d'activité ;
- Des **lisières arborées et ourlets** assez anciens présentant un intérêt (essences bocagères en partie Sud du périmètre d'étude, **double talus** parcourant le périmètre du projet) ou plus récents constitués d'espèces exogènes (robiniers en lisière Nord, le long du chemin du Paradis).

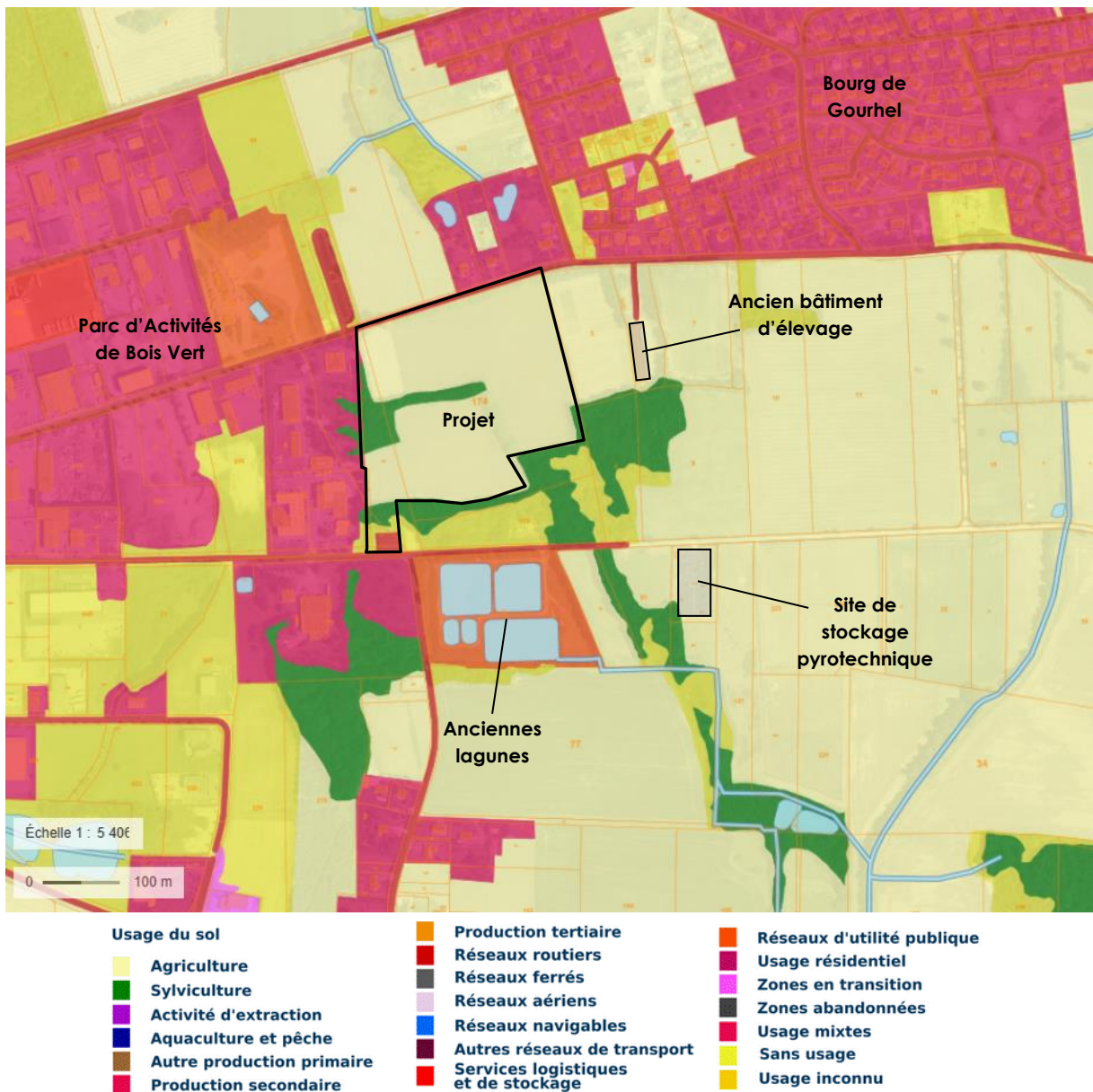


Illustration n°21 : Usages du sol aux abords du périmètre du projet (source : Géoportail)

I. Schéma d'aménagement étudié

Le périmètre du projet s'étend sur **6,7 ha**. Les emprises aménagées se limitent aux **surfaces aujourd'hui cultivées, permettant 3,7 ha de surfaces cessibles**. Les **haies et boisements** se trouvent **intégralement préservés**, suivant une logique d'Évitement des incidences sur l'environnement. Le **double-talus** séparant le site en deux enclaves cultivées actuellement se verra **conforté** selon un axe Nord-Sud pour favoriser la biodiversité et l'insertion paysagère.

Le projet prévoit la création de **8 lots de 1 580 m² à 8 046 m²** (subdivisible en 15 lots maximum en fonction des besoins des porteurs de projets) **destinés à permettre l'installation d'activités artisanales et industrielles** sur les 3,7 ha d'emprises cessibles.

Le projet permettra une **surface plancher SP maximum de 15 000 m²**.

Remarque :

La **SP (Surface Plancher)** est la surface de référence utilisée dans les documents d'urbanisme : elle correspond à la **somme des surfaces de planchers de chaque niveau clos et ouvert** d'un bâtiment, calculé à partir du **nu intérieur des façades**, après déduction de certains éléments s'il y a lieu.



Illustration n°22 : Plan masse du projet (source : GBS)

J. Label

Il n'est pas attendu de label particulier sur le site du projet en termes d'aménagement, de préservation des enjeux environnementaux ou de performance énergétique du bâti et des équipements.

Sources d'énergie mobilisables sur le site

L. Energies fossiles

Les **énergies fossiles** qu'il est envisageable d'exploiter sur le projet sont :

- L'**électricité**, le site étant desservi par le réseau électrique ;
- Le **gaz naturel**, le site étant desservi par le réseau de distribution ;
- Le **fioul**, au travers de cuves enterrées ;
- Le **gaz propane**, au travers de citernes.

1. Electricité conventionnelle

En France, l'électricité est essentiellement produite à partir de ressources fossiles (uranium, gaz, charbon, fioul...) et se trouve donc considérée en tant que tel. Toutefois, en 2011, **11%** de l'électricité produite en France était d'origine **renouvelable** (hydraulique, éolien, photovoltaïque...). L'électricité reste **difficilement stockable** mais à l'avantage d'être **simple à utiliser** et polyvalente.

Il est à noter que la **Bretagne** est éloignée des sources principales de production : elle **ne produit que 11,7%** de l'électricité qu'elle consomme (dont la moitié en hydraulique, un tiers à partir de centrales au fioul et 20% en éolien). Les **deux tiers** de l'approvisionnement provenaient en 2017 des **centrales nucléaires** de Flamanville (dans la Manche) et Chinon (en Indre-et-Loire), le **dernier tiers** de la **centrale charbon/fioul** de Cordemais (Loire Atlantique), fermée en 2018. Cette dépendance rend le **risque de blackout** réel.

L'impact de l'électricité est essentiellement lié au **mauvais rendement** de la production d'électricité : **un tiers de l'énergie primaire** consommée est restitué sous forme d'énergie électrique, les deux tiers restants étant perdus. Le mauvais rendement de la production d'énergie électrique conduit à une **grande consommation** de ressources fossiles, et donc à un **impact écologique** significatif.

Le site est desservi en électricité depuis le chemin du µParadis au Nord et la rue Gilles Roberval au Sud.

Il convient en général de réserver l'électricité aux usages spécifiques dans le cadre des projets : éclairage, bureautique, électroménager, etc. Toutefois, des dispositifs de chauffage et de production d'eau chaude performants (pompes à chaleur, chauffe-eau thermodynamiques) peuvent demeurer pertinents.

2. Gaz naturel

Le gaz naturel est une **énergie fossile**, tout comme le fioul. Sa combustion rejette cependant moins de CO₂ que le fioul, à énergie produite équivalente. Le gaz naturel est acheminé via des canalisations terrestres, ou sous forme liquéfié par voie maritime. Le raccordement et l'innervation du territoire fait du gaz naturel une **énergie facile d'accès**, moins chère que le fioul.

Le site est desservi par le gaz naturel depuis la rue Gilles Roberval au Sud.

Dans la suite de l'étude, l'énergie fossile de référence pour évaluer l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables sera le gaz naturel.

3. Fioul

Le fioul a pendant longtemps été une source d'énergie de chauffage privilégiée, de par son fiable coût. La **forte augmentation des prix**, indexés sur les prix du pétrole, au cours des dernières années conduit à voir ce type d'installation disparaître dans les installations neuves.

Le fioul a un **impact important** sur le dérèglement climatique par ses **rejets carbonés et soufrés**. Il s'agit d'une ressource fossile dont l'utilisation devrait être restreinte aux utilisations plus spécifiques (plastiques, textiles, etc.).

Si le fioul domestique est une énergie qui a longtemps été mobilisée pour le chauffage en Bretagne, cette énergie fossile coûteuse et fortement émettrice de gaz à effet de serre et de polluants est à écarter.

4. Gaz propane (bouteille ou citerne)

Le gaz propane, en bouteille ou en citerne, peut également être une source d'énergie utilisée lorsque le **gaz naturel** n'est **pas disponible**. Ce gaz est directement **issu du pétrole** et son utilisation constitue également un appauvrissement en des ressources fossiles. Il demeure **plus polluant** que le gaz naturel, mais moins que le fioul.

Il est à noter que si elles ne sont pas enterrées, les **citernes** de propane présentent un **impact visuel** fort.

Le site du projet étant desservi par le réseau de gaz naturel, la solution du gaz propane n'est pas à favoriser pour des raisons de coût, de sécurité et d'émissions polluantes.

M. Energies renouvelables

Plusieurs sources d'énergies renouvelables sont mobilisables sur le territoire de la commune de Ploërmel et envisageables sur le site du projet. Les différents types d'énergies renouvelables ici abordés sont détaillés en annexe de la présente étude.

1. Energie solaire

Pour rappel, il convient de distinguer énergie solaire passive et énergie solaire active.

L'**énergie solaire passive** est à relier directement au **bioclimatisme** : elle consiste à opter pour des choix d'aménagements permettant de tirer parti au mieux des **apports solaires** (disposition des parcelles et des bâtiments permettant l'orientation des pièces de vie vers le Sud, avec de grandes ouvertures). Il faut toutefois veiller à prévoir des **protections** pour les périodes estivales (casquettes, volets) en vue de parer aux **surchauffes**.

L'**énergie solaire active** consiste en l'exploitation de l'énergie solaire pour produire du chauffage et de l'eau chaude (**énergie solaire thermique**) ou de l'électricité (**énergie électrique photovoltaïque**).

La mobilisation des énergies solaires passive et active, tant thermique que photovoltaïque, seront à envisager sur le projet. Le potentiel du territoire est notamment mis en avant par le PCAET de Ploërmel Communauté.

2. Biomasse

La **biomasse** correspond à l'énergie issue de la **matière organique** végétale, animale ou bactérienne. Cette notion regroupe aussi bien la **filière bois énergie**, la **filière biogaz** (récupération du méthane issu de la digestion anaérobie de matière organique en stations d'épuration, du lisier, des déchets de l'agriculture). L'énergie issue de la biomasse est une **énergie solaire indirecte**, la croissance de la biomasse étant liée à la **photosynthèse**.

La **filière bois énergie** correspond à la production de bois bûche, de bois plaquettes et de granulés de bois utilisés comme **combustibles** dans des chaudières individuelles ou collectives, des poêles voire des foyers (en appoint) pour assurer le **chauffage** et éventuellement la production d'**eau chaude sanitaire**.

La **filière biogaz** est essentiellement réinjectée sur le réseau de distribution de gaz naturel. Elle tend à se développer mais demeure une fraction très faible des volumes délivrés par le réseau de gaz naturel.

La **valorisation des déchets** peut également être assimilée à la filière biomasse, de nombreux déchets ayant une **origine organique**. La combustion des déchets dans des centrales dédiées permet ainsi leur **valorisation énergétique** via un réseau de chaleur voire la production d'électricité dans le cadre d'une **cogénération** optimisant ainsi le rendement.

La filière bois énergie sera à aborder dans le cadre du projet, car cette ressource locale est disponible et potentiellement adaptée aux usages de chauffage sur le site.

La filière biogaz est envisageable par la mise en œuvre d'une unité de cogénération (chaleur et électricité), en fonction des besoins.

La valorisation des déchets ne sera par contre pas développée : cette filière nécessite la mise en œuvre d'équipements conséquents et la structuration de filières d'approvisionnement et de distribution qui ne peuvent être envisagées qu'à un niveau communal voire supra-communal.

3. Energie éolienne

L'énergie éolienne correspond à l'exploitation des vents, c'est-à-dire du mouvement des masses d'air entre des zones de températures différentes. Indirectement, cette énergie se trouve ainsi liée au soleil.

Les éoliennes permettent la production d'électricité, la rotation des pâles entraînant un alternateur.

L'exploitation du petit éolien reste envisageable sur site, mais potentiellement contraintes par la végétation alentour. L'impact visuel et l'acceptabilité sociale de telles solutions peuvent toutefois être des points de blocage.

4. Energie hydraulique

L'énergie hydraulique est issue du cycle de l'eau (évaporation – précipitation), et ainsi indirectement du soleil. En général, ceci passe par la création de barrages de retenue au travers des cours d'eau permettant d'exploiter à la demande l'énergie liée à la chute de l'eau pour entraîner des alternateurs produisant de l'électricité.

Il convient par ailleurs de mentionner l'énergie marémotrice, exploitant le mouvement des marées, phénomènes liés partiellement à la force gravitationnelle de la lune.

Le site est localisé à l'écart des cours d'eau et du littoral. Il n'est pas envisageable d'exploiter l'énergie hydraulique à l'échelle du projet.

5. Géothermie

La géothermie consiste en l'exploitation de la chaleur issue de l'enveloppe terrestre pour le chauffage des bâtiments et la production d'électricité.

La Bretagne n'est pas une région propice à l'exploitation de la géothermie. En revanche, l'exploitation de l'énergie solaire emmagasinée en partie superficielle du sous-sol et dans les aquifères de surface demeure envisageable.

Phase 1 : étude du potentiel de la zone d'étude vis-à-vis des énergies renouvelables

A. Energie solaire

1. Situation du projet

L'insolation annuelle en Bretagne tourne autour de 1 700 h/an. Un mètre carré de capteurs solaires reçoit alors entre 1 300 et 1400 kWh/m²/an.

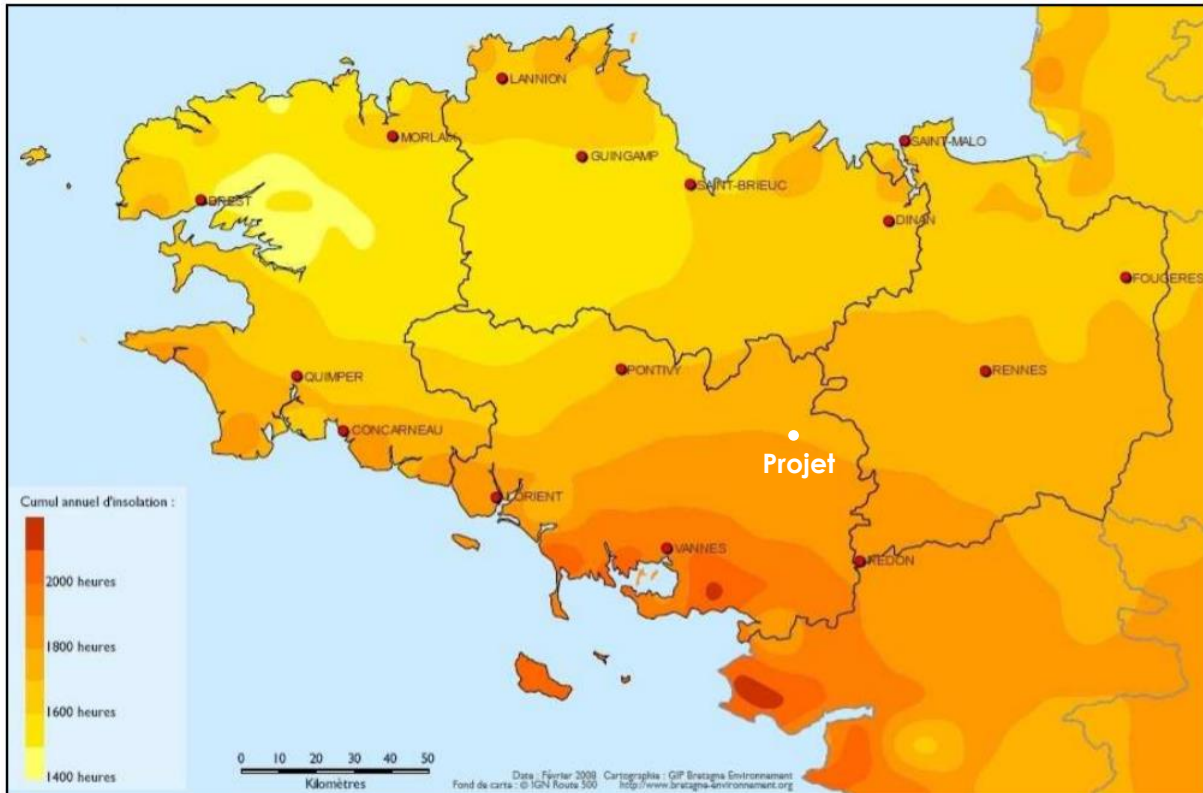


Illustration n°23 : Insolation annuelle en Bretagne – Moyenne sur la période 1997-2006 (source : Bretagne Environnement)

L'**insolation annuelle** sur le territoire de la commune de Ploërmel est comprise **entre 1700 et 1900 heures**. L'**énergie reçue** est d'environ **1 300 kWh/m²/an**.

2. Potentiel de développement de l'énergie solaire sur le site du projet

Un **cadastre solaire** a été établi à l'échelle de Ploërmel Communauté. Les bâtiments d'activités du Parc d'Activités de Bois Vert présentent un potentiel **de production d'énergie photovoltaïque** compris entre **84 et 191 kWh/m²/an** selon cet outil.

Cela indique un **potentiel équivalent sur l'emprise du projet**, sous réserve d'une bonne orientation du bâti et de l'absence d'ombres projetées, notamment par les arbres, sur celui-ci.

Le site s'étend sur un **point haut**, sur des emprises **cernées de haies et boisements**. Les **ombres portées** des arbres mais également des **projets de constructions**, devront être prises en

compte dans le cadre des aménagements pour **optimiser les apports solaires** de chacun des bâtiments.

3. Préconisations pour l'exploitation de l'énergie solaire sur la zone

o Optimiser les apports solaires passifs :

Bâtir des bâtiments économes en énergie nécessite avant tout d'**optimiser les apports solaires passifs** pour limiter les besoins en chauffage et les phénomènes de surchauffe en été. D'une manière générale, les préconisations qui peuvent ainsi être émises sont :

- L'**orientation des façades vers le Sud**, voire Sud-Ouest à Sud-Est ($\pm 20^\circ$ par rapport au Sud, en prévoyant de **grandes ouvertures** ;
- Assurer un **recul suffisant** entre les bâtiments pour permettre à chacun un accès au soleil au Sud dans les conditions les plus défavorables (solstice d'hiver) ;
- **Tirer parti des haies et boisements** d'essences à feuilles caduques pour profiter de l'effet d'ombre en été et du soleil en hiver.

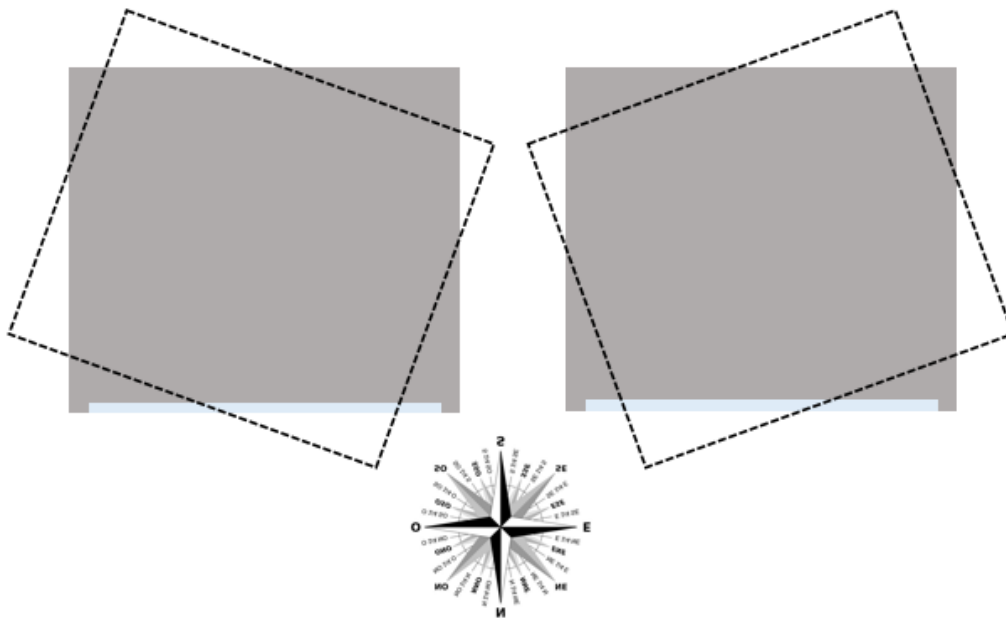


Illustration n°24 : Orientation optimale des façades principales : SUD $\pm 20^\circ$

o Permettre le développement du solaire thermique

La mise en place de **capteurs solaires thermiques** peut théoriquement être envisagée sur les bâtiments tertiaires. Toutefois, il apparaît plus pertinent de réserver l'**énergie solaire thermique** aux bâtiments présentant d'**importants besoins en eau chaude sanitaire** (logements collectifs notamment).

La disposition des panneaux solaires devra le cas échéant se faire selon un **angle de $\pm 25^\circ$ par rapport au Sud** et une **inclinaison de 45°** en vue d'optimiser les apports. On veillera à ce que ces dispositifs soient le moins possible occultés par les ombres et les masques liés à la végétation et aux constructions proches.

Enfin, s'il n'apparaît pas financièrement possible d'investir à court terme dans des panneaux solaires, il peut être intéressant de **prévoir leur éventuelle implantation** dans le futur lors de la

conception du bâtiment (implantation de support permettant de fixer ultérieurement des châssis en toiture, proximité des raccordements).



Illustration n°25 : Capteurs solaires thermiques sur toitures végétales (source : Wikipédia)

- **Permettre l'implantation de dispositifs solaires photovoltaïques**

La mise en place de **capteurs solaires photovoltaïques** est à considérer après l'optimisation énergétique du bâtiment, afin de favoriser avant tout les apports passifs et de réduire les besoins en électricité pour le chauffage.

La disposition des panneaux solaires devra se faire selon un angle de **+/-25° par rapport au Sud** et une **inclinaison de 45°** en vue d'optimiser les apports. On veillera à ce que ces dispositifs soient le moins possible occultés par les ombres et les masques liés à la végétation et aux bâtiments proches.

Il est à noter que le contexte réglementaire impose l'installation de panneaux solaires photovoltaïques sur les toitures des bâtiments d'activités et certaines aires de stationnement. Il peut être intéressant de **maximiser leur emprise d'implantation en adaptant les structures et équipements** lors de la conception du bâtiment (implantation de support permettant de fixer ultérieurement de nouveaux châssis en toiture, praticité des raccordements).



Illustration n°26 : Capteurs solaires photovoltaïques en toiture (source : Wikipédia)

B. Energie éolienne

1. Exposition au vent

a) Situation de la commune

La **rose des vents** ci-après représente la **fréquence des vents** en fonction de leur provenance et par groupes de vitesse pour la station météorologique de Ploërmel-Loyat.

On observe fréquemment des **vents de provenance d'Ouest à Sud-Ouest** (vitesse régulièrement supérieure à 10 m/s) : ceci caractérise un **climat océanique**. Cela occasionne un **étalement des précipitations** et une **faible variabilité des températures**.

On peut également remarquer **quelques vents Nord-Est** qui engendrent le début d'une influence continentale avec présence d'accidents climatiques épisodiques (gels).

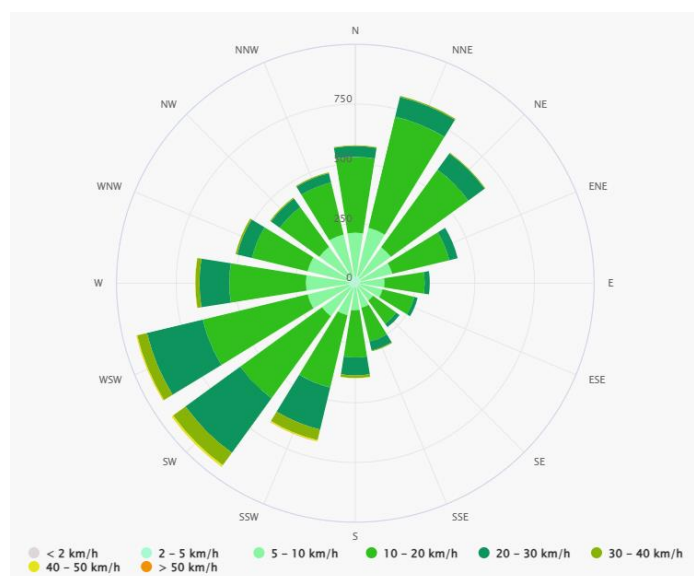


Illustration n°27 : Rose des vents de la station météorologique de Ploërmel-Loyat sur 1994-2024 (source : Meteoblue)

b) Situation du projet

Le site du projet se trouve localisé sur un **point haut** de la commune. La topographie alentour est marquée par des **pent**es peu prononcées vers le Nord, l'Ouest et le Sud. On note l'existence de **boisements et haies** d'une dizaine de mètres de hauteur en **lisières des emprises amenées à être aménagées**.

2. Potentiel de développement en énergie éolienne sur le projet

a) Grand éolien

La législation interdit l'implantation des éoliennes de plus de 50 m de hauteur à moins de 500 m des habitations. Or, le projet s'étend à proximité du bourg de Gourhel : les habitations les plus proches sont situées de l'autre côté du chemin du Paradis, au Nord-Est. Dès lors, **il n'est pas envisageable d'exploiter le grand éolien sur site**.



Illustration n°28 : Grand éolien – Parc éolien à Estinnes, en Belgique (source : Wikipédia)

b) Petit et moyen éolien

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

- D'un point de vue physique, à l'**implantation du bâti**, qui influencera fortement la **trajectoire des vents** ;
- D'un point de vue économique, à l'**absence d'obligation de rachat de l'électricité éolienne produite** ;
- D'un point de vue technique, à l'**efficacité des technologies** mises en œuvre. En l'état actuel, le petit éolien n'apparaît pas être une technologie suffisamment mature pour permettre une productivité rentabilisant l'investissement nécessaire à sa mise en œuvre.

La mise en place de petites éoliennes (< 12 m de hauteur) ne nécessite **pas de permis de construire**.

Il convient de prendre en considération l'**impact paysager** des équipements éoliens mis en œuvre en secteur urbanisé. Ceci est d'autant plus vrai pour site localisé sur un point haut, en en lisière de la tâche urbaine. Les éventuelles **nuisances**, notamment **sonores**, sont également à considérer pour les personnes amenées à travailler sur site mais également pour les riverains.



Illustration n°29 : Exemple de petite éolienne verticale (source : EOLIE)

L'**analyse du potentiel éolien** sur le site du projet doit être analysée par une **étude approfondie des vents** sur site. Les vents étant fortement dépendants des constructions et éléments paysagers sur le site et ses alentours, il ne sera pertinent de lancer une telle étude qu'**à l'issue de l'aménagement** du quartier.

Au-delà de la faisabilité technique et du rendement, les **enjeux paysagers** du site et la **proximité des habitations** ne sont pas **favorables** à l'implantation de dispositifs éoliens.

3. Conclusions et perspectives sur l'éolien

La mise en œuvre du **grand éolien** sur site n'est **pas envisageable**. Le cas échéant, la mise en œuvre de solutions de **petit et moyen éolien** devra faire l'objet d'**études spécifiques** visant à mieux cerner le **potentiel** et la **rentabilité** de l'opération.

C. Energie géothermique

L'énergie géothermique vise à extraire la chaleur présente dans le sous-sol en vue de la valoriser sous forme d'énergie thermique (chauffage, ECS). Les différents types de géothermie sont présentés en annexe du présent dossier.

1. Contexte local

Sur la commune de Ploërmel, comme sur l'ensemble de l'Ouest de la France, les **ressources géothermiques** sont essentiellement associées aux **petits aquifères superficiels** situés dans le massif cristallin. Le potentiel géothermique est ainsi à relier aux **nappes d'eau peu profondes** (< 1000 m) présentant des **températures moyennes**.

Le territoire de la commune apparaît éligible à la **Géothermie de Minime Importance (GMI)** sur la carte des zones réglementaires.

A titre d'information, le **PCAET de Ploërmel Communauté** évalue le **potentiel géothermique** du territoire à **50 GWh**.

La détection des aquifères sous-jacents et l'**estimation du potentiel géothermique** sur le site du projet nécessitent la mise en œuvre de **forages spécifiques**.

2. Potentiel de mobilisation de l'énergie géothermique

En vue d'estimer le **potentiel géothermique** au droit du site, la **réalisation de forages** apparaît être un préalable impératif. A défaut de données précises, il est délicat de conclure sur le potentiel géothermique au droit du site.

3. Préconisations pour l'exploitation de l'énergie géothermique sur la zone

L'exploitation du potentiel géothermique sur nappe nécessite une certaine **vigilance** :

- Les bâtiments doivent disposer d'un **circuit hydraulique en régime basse température** ;
- La **performance n'est pas garantie dans le temps**, les caractéristiques de la nappe d'eau influent grandement (variabilité du débit) ;
- Le **coût des forages** est élevé ;
- La **maintenance** des équipements demeure **contraignante** ;
- L'incidence en termes de **bulle thermique** est à prendre en compte, afin d'éviter la recirculation d'eau entre forage d'injection et forage de pompage. Ceci est d'autant plus pénalisant que le nombre de forages est élevé.

D. Récupération d'énergie sur les eaux usées

1. Contexte local

La récupération de l'énergie des eaux usées, ou **cloacothermie**, à l'avantage de se situer à **proximité de la demande** et de **limiter les émissions de CO₂**. La température des eaux usées est d'environ 15°C, ce qui en fait une source de chaleur intéressante à exploiter par la mise en place d'une **pompe à chaleur**.

Différents systèmes de récupération existent :

- Récupération dans les **collecteurs d'eaux usées** du réseau public ;
- Récupération au niveau des **stations d'épuration** ;
- Récupération au niveau des **stations de relevage** ;
- Récupération au **pied des bâtiments** ;
- Récupération par échangeur thermique sur l'**eau des douches**.

Seules ces **2 dernières solutions** sont envisageables par les **porteurs de projet**, les autres équipements relevant du domaine de la collectivité gérant le réseau d'eaux usées.

Il est à noter que si la **récupération thermique** des eaux usées n'est théoriquement possible que sur les **réseaux d'assainissement** d'au moins 5 000 Equivalents Habitants (EH), la **rentabilité** de tels équipements n'est assurée qu'à partir de **20 000 EH**.

Vue en coupe

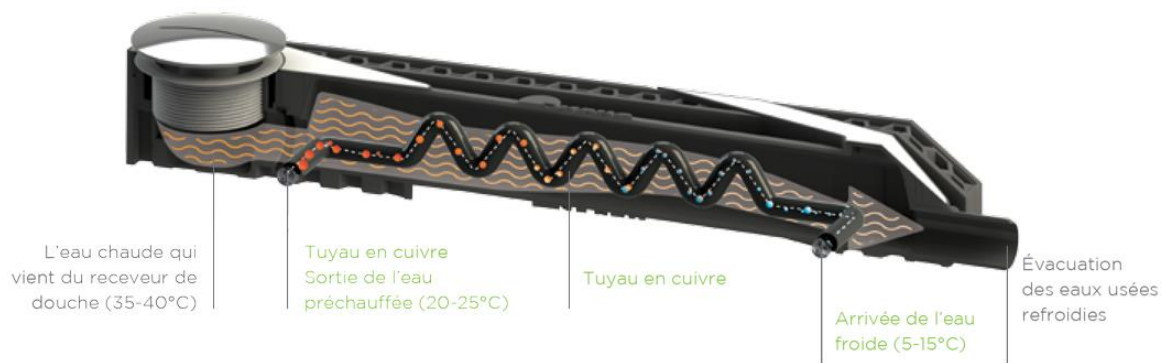


Illustration n°30 : Principes de fonctionnement d'un récupérateur de chaleur d'eaux de douches (source : ZYPHO)

2. Gisement

La commune de Ploërmel dispose d'une **station d'épuration** de type boues activées située au lieu-dit La Ville Rehel, à **3 km à vol d'oiseau** du site du projet. Cette station d'épuration dispose d'une capacité totale de traitement de **55 000 EH**, ce qui permet d'envisager la récupération de l'énergie des eaux usées. Toutefois, cette station est **trop distante** du projet et il n'est pas envisageable d'alimenter le projet par cette source d'énergie.

La récupération d'énergie au **pied des bâtiments** présente l'avantage d'être **simple** à mettre en œuvre pour l'ECS. Le potentiel de puissance est compris entre **50 kW et 300 kW** suivant la taille des bâtiments et le nombre de personnes.

La récupération de l'énergie par **récupération de chaleur** présente l'avantage d'être au plus près de la source et optimise ainsi le rendement (jusqu'à **30% de la puissance de production d'ECS**). Elle est par ailleurs **facile à mettre en œuvre** et nécessite **très peu d'entretien**.

E. Biogaz

La mise en œuvre d'une **unité de cogénération** produisant de l'électricité (35 à 40%) et de la chaleur renouvelable (45 à 50%) à partir de biogaz issu de méthanisation apparaît une solution envisageable **à l'échelle d'une zone d'activité**, si la **nature des activités** justifie le besoin et si un **réseau de chaleur** est mis en œuvre en parallèle pour distribuer l'énergie.

Toutefois, la mise en œuvre d'une telle solution suggère la mise en œuvre préalable d'une **filiale locale de méthanisation structurée**, apte à garantir l'approvisionnement en déchets organiques (exploitations agricoles, industries agro-alimentaires). Ceci peut **nécessiter une dizaine d'année** et ne peut de ce fait être envisagé après l'aménagement du site ou même simultanément.

Il existe **2 unités de méthanisation** (collective et à la ferme) sur Ploërmel Communauté pour envisager l'exploitation de cette filière dans le présent projet d'aménagement par injection sur le réseau de gaz de ville. LA capacité de production actuelle reste toutefois marginale (source : PCAET).

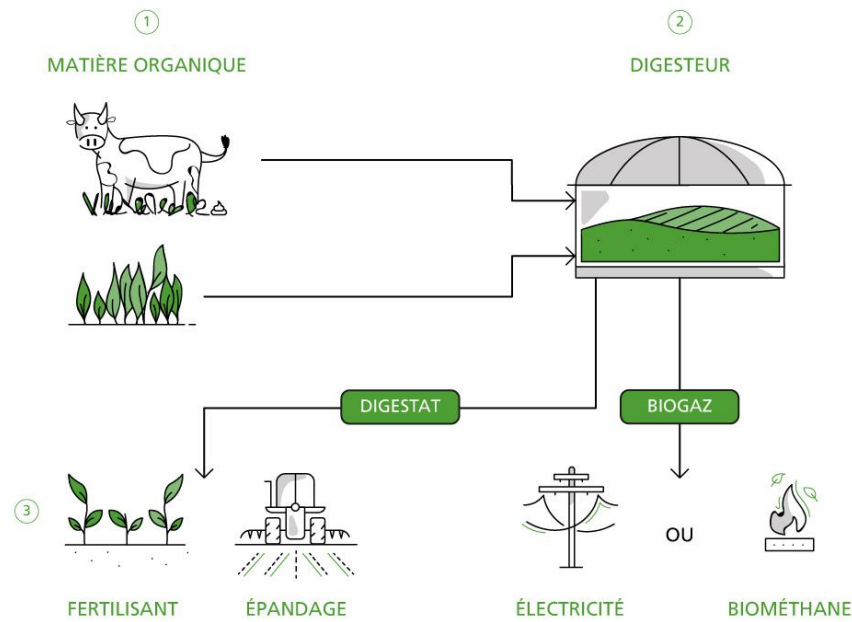


Illustration n°31 : Principe de la méthanisation (source : EDF)

F. Energie bois

L'**énergie bois** est disponible sous différentes formes à l'échelle du territoire. Ceci est détaillé en annexe de la présente étude.

1. Bois buches

Le **bois buche** peut être livré par palettes de bois certifié. A noter la création par l'association Abibois de la marque **Bretagne Bois Bûche** identifiant les professionnels bretons engagés dans une démarche de qualité des produits et des services. A l'heure actuelle, de nombreux distributeurs et fournisseurs sont aptes à répondre aux besoins. Toutefois, la mauvaise combustion du bois peut être sources d'émissions polluantes.

Le **bois buche** est une solution à privilégier pour les solutions de **chauffage d'appoint individuelles (poêle, inserts)** sous réserve d'une **bonne performance des dispositifs**, mais elle nécessite un lieu de stockage et de la manipulation fréquente. Il ne s'agit pas d'une solution adaptée aux activités.

2. Bois déchiqueté ou plaquettes

Différentes plateformes d'approvisionnement en **bois déchiqueté** sur le Pays de Plœrmel sont envisageables pour alimenter le site du projet. Sur le territoire du **Pays de Plœrmel – Cœur de Bretagne**, plus de **70 000 tonnes de bois déchiqueté** sont produites chaque année (source : *Développement de la filière Forêt-Bois sur le Pays de Plœrmel-Cœur De Bretagne*, Forêt-Bois et Territoires, Diagnostic 2022-2023).

D'après le Plan Bois Energie Bretagne 2015-2020, le **gisement breton** est estimé à 615 000 t/an, essentiellement lié à l'**exploitation forestière**. Toutefois, le **gisement agricole** apparaît **sous exploité** (10 000 t/an mobilisés contre 170 000 t/an exploitables). Malgré la mobilisation de bois-énergie sur les chaufferies de petites et moyennes capacités (jusqu'à 4 000 t/an), la filière régionale n'apparaît pas être en mise en péril. La mobilisation de la ressource agricole reste pertinente, notamment pour l'**alimentation en collectivités** via des **plateformes locales**.

L'**optimisation** de la **filière forêt**, principal gisement, permettrait d'**énormes marges de progression**. Ainsi, le Plan Bois Energie Bretagne 2015-2020 at-il pour objectif de mobiliser près de 50% de ressources en plus que le Plan Bois Energie Bretagne 2007-2013.

L'exploitation de la filière **bois déchiqueté** apparaît être une **solution cohérente** à l'échelle du projet, dès lors que la mise en œuvre de **chaufferies communes**, d'un **réseau de chaleur** et d'**espaces de stockage** conséquents est envisageable.

3. Granulés de bois

Les **granulés de bois** sont produits à partir de sciure de bois séchée issue de l'industrie du bois. Il s'agit d'un produit beaucoup plus homogène que la plaquette, donc plus facilement utilisable. Toutefois, sa fabrication est plus énergivore. Il peut être livré en sac ou en vrac.

Si l'exploitation de **granulés de bois** pour le chauffage apparaît pertinente pour l'**habitat individuel** comme pour l'**habitat collectif**, elle ne l'est **pas forcément pour les activités**. A noter que cette solution nécessite la mise en œuvre de **dispositifs de stockage** conséquents, à l'abri des intempéries, au sec et à **proximité du point de chauffage** pour limiter la manutention.



Illustration n°32 : Différentes formes d'énergie bois (source : Plan Bois Energie Bretagne)

G.Synthèse du potentiel de développement des énergies renouvelables sur la zone

L'étude du gisement local des énergies renouvelables permet de discerner certaines solutions pouvant être mise en œuvre à l'échelle de l'opération, compte-tenu des usages projetés.

L'énergie solaire, tant passive qu'active, la récupération de chaleur fatale liée aux process industriels et la filière bois (plaquettes) apparaissent présenter le potentiel de développement le plus important, toutefois sous conditions de leur prise en compte en amont du projet.

Energie	Potentiel sur site	Conditions de mobilisation
EOLIEN		
Petit éolien	+	Etude spécifique à mener après l'édification du bâti. Freiné par les enjeux paysagers et patrimoniaux, voire l'acceptabilité sociale.
Grand éolien	-	Impossible à moins de 500 m d'une habitation.
SOLAIRE		
Apports passifs	+++	Conception bioclimatique. Orientation Sud des bâtiments et toitures. Modélisation de l'ensoleillement en tenant compte des ombres portées (bâtiments, végétation).
Solaire thermique	+++	Orientation des toitures et toits terrasses vers le Sud, étudier la mise en œuvre de panneaux solaires thermiques (en fonction des besoins en énergie thermique) et brises-soleil via une étude de faisabilité technico-économique spécifique pour chaque bâtiment.
Solaire photovoltaïque	+++	Orientation des toitures et toits terrasses vers le Sud, étudier la mise en œuvre de panneaux solaires thermiques (en fonction des besoins en énergie thermique) et brises-soleil via une étude de faisabilité technico-économique spécifique pour chaque bâtiment. Etudier la mise en œuvre d'ombrières sur les stationnements à l'échelle de chaque lot.
GEOOTHERMIE		
Faible et moyenne profondeur	+	Réalisation d'un forage test et d'une étude de faisabilité pour confirmer le potentiel du secteur et déterminer les modalités d'exploitation.
RECUPERATION D'ENERGIE SUR LES EAUX USEES		
Echangeurs de chaleur	-	Nécessité de consommation significative d'ECS, ce qui dépendra des activités amenées à s'installer.
En station d'épuration	-	Station d'épuration trop éloignée pour permettre une valorisation directement sur site.
RECUPERATION DE CHALEUR FATALE SUR LES PROCESS INDUSTRIELS		
Echangeur de chaleur	++	Nécessité de production de chaleur fatale significative, ce qui dépendra des activités amenées à s'installer.
BIOGAZ		
Cogénération	-	Pas d'installation de production à proximité du site.
BOIS		
Granulés	+	Prévoir des emplacements de stockage à proximité des équipements. Prévoir un approvisionnement régulier. Dépendra des besoins en énergies thermiques des activités. Plus cher que les plaquettes.
Plaquettes	++	Prévoir des emplacements de stockage à proximité des équipements. Prévoir un approvisionnement régulier. Dépendra des besoins en énergies thermiques des activités.
Bois bûche	-	Inadapté aux activités (stockage, rendement, manipulation, risques...)
HYDRAULIQUE		
Hydraulique	-	Absence de cours d'eau, trop éloigné du littoral.

H. Synthèse sur l'impact environnemental des énergies mobilisables

Formes d'énergie	Atouts/avantages	Contraintes/inconvénients
Energies fossiles		
Electricité	Disponibilité	Coût élevé et volatil Dépendance du territoire breton et fragilité du réseau en hiver Faible rendement global (2/3) Nucléaire : gestion des déchets et risques Centrales thermiques : émissions de GES
Gaz naturel	Disponibilité Moindre impact environnemental que le fioul	Energie essentiellement importée Fort impact environnemental (émissions de GES)
Fioul	Pas besoin de réseau	Très fort impact environnemental (pollution, émissions de GES)
Propane	Pas besoin de réseau Moindre impact environnemental que le fioul	Fort impact environnemental (émissions de GES)
Energies renouvelables		
Bois	Ressource largement disponible sur le territoire Breton Filière favorisant l'économie locale Prix mesuré, plus stable que les énergies fossiles (fioul, gaz, électricité notamment)	Structuration de la filière à optimiser au niveau régional. Nécessité de contrôler la qualité du combustible pour limiter les émissions de GES. Opportunité technico-économique à étudier pour les activités amenées à s'installer sur site. Nécessité de mettre en œuvre un approvisionnement fiable et régulier et des espaces de stockage adaptés (taille, conditions atmosphériques)
Solaire	Energie gratuite et renouvelable Site dégagé, bien exposé Solaire actif – thermique : Technologie solaire thermique arrivée à maturité : bon rendement, fiabilité Solaire actif – photovoltaïque : Intégration possible Revente au réseau possible	Contraintes d'orientation du bâti (Sud) Réflexion à mener sur chaque bâtiment pour optimiser les apports solaires tout en tenant compte des contraintes (emplacement, environnement, orientation, ombres, fonctionnalité, budget...) Solaire actif – thermique : Conflit d'usage des toitures (édicules techniques, rétentions d'eau en toiture) Pas de revente possible – utilisation locale et régulière Solaire actif – photovoltaïque : Coût potentiellement élevé – rentabilité dépendant du rendement des équipements, du prix de rachat par le réseau. Capacité du réseau local à adapter à la production.
Petit et moyen éolien	Energie gratuite et renouvelable Intégration possible en milieu urbain	Faible productivité, limitée en milieu urbain (« effet d'abris ») Filière pas aussi mûre que le grand éolien Potentielles nuisances sonores Intégration paysagère difficile au regard des enjeux paysagers et patrimoniaux locaux
PAC aérothermique*	Rendement nettement supérieur à un chauffage électrique conventionnel	COP moyen annuel faible comparé à PAC sur sonde géothermique Efficacité limitée en hiver, nécessitant un apport supplémentaire en électricité lorsque le réseau est le plus fragile Nuisances sonores notamment en quartier dense Fluide frigorigène émetteur de GES
PAC sur sonde géothermique	Rendement nettement supérieur à un chauffage électrique conventionnel Utilisation d'une source chaude, meilleur rendement qu'une PAC aérothermique	Efficacité limitée en hiver, nécessitant un apport supplémentaire en électricité lorsque le réseau est le plus fragile Fluide frigorigène émetteur de GES
Géothermie profonde	Performance Peu intégrer un bouquet énergétique en tête de réseau de chaleur	Coût de mise en œuvre élevé
Récupération de chaleur fatale	Energie de récupération, optimisant la performance énergétique des systèmes et les coûts énergétiques	Fourniture de chaleur simultanément à la demande seulement A définir en fonction des possibilités dans le cadre de chaque projet

(*) La PAC aérothermique est injustement assimilée à une énergie renouvelable car, en extrayant l'énergie renouvelable de l'air, elle produit une énergie utile nettement supérieure à l'énergie électrique consommée. Elle nécessite dans tous les cas de l'énergie électrique pour fonctionner.

Phase 2 : évaluation de la consommation énergétique du projet

La deuxième étape consiste à estimer les consommations énergétiques de l'opération de manière exhaustive, afin de comparer l'impact environnemental des différentes sources d'approvisionnement.

On procède ainsi :

- A l'évaluation de la totalité des **consommations énergétiques finales** liées au bâti,
- A la définition de différents **scénarios d'approvisionnement** envisageables ;
- A l'évaluation de l'**impact environnemental** de ces scénarios en termes de consommations en **énergie primaire** ;
- A évaluer l'**impact financier** de ces scénarios à moyen-long terme.

A. Consommations liées aux process industriels

Il convient de noter que les consommations d'énergies relatives aux process industriels sont très difficiles à cerner à ce stade : elles peuvent être très limitées (bâtiment de stockage) comme très élevée (activités nécessitant des process thermiques).

B. Usages liés au bâti

Les **besoins énergétiques** des bâtiments se décomposent en plusieurs types de besoin, tant **thermiques** qu'**électriques** :

- Chauffage ;
- Production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) ;
- Climatisation ;
- Electricité technique (éclairage, ventilation, circulateurs, etc.) ;
- Electricité domestique (informatique essentiellement pour les activités, etc.) ;
- Electricité des parties communes (éclairage, ascenseur, etc.).

A noter que **nous ne tiendrons pas compte de la climatisation** dans la présente étude, car l'évolution de la réglementation thermique tend à proscrire l'utilisation de tels dispositifs au profit d'une meilleure conception bioclimatique.

Afin d'évaluer les besoins énergétiques globaux du bâti dans le cadre du projet, nous retenons **différentes hypothèses de consommations énergétiques** en fonction des dispositifs envisagés et de la typologie de bâtiments. On retient en termes de performances énergétique :

- La **RE2020**, niveau minimal de performance imposé pour les bureaux (avec un Cep de 160 kWh/m²/an pour le chauffage, le refroidissement, l'ECS et l'éclairage) ;
- Le **niveau passif** comme objectif de référence de sobriété énergétique (besoins de chauffage inférieurs à 15 kWh/m²/an).

Il est à noter que la RE2020 n'intègre pas les consommations d'électricité domestique, malgré leur part non-négligeable (40% des consommations d'énergies pour un bâtiment très performant). Nous intégrerons tout de même les postes d'éclairage et d'informatique dans notre calcul.

Pour rappel, le tableau suivant rappelle la **typologie de bâti attendue sur site**.

Typologie	Nombre	SP totale (m ²)	SHON _{RT} totale estimée (m ²)
Lots destinés à des bâtiments d'activités	15	15 000	13 500
Total	15	/	13 500

Le graphique suivant présente la **consommation prévisionnelle d'énergie finale du bâti à l'échelle de l'ensemble de l'opération** à terme, selon la performance énergétique envisagée.

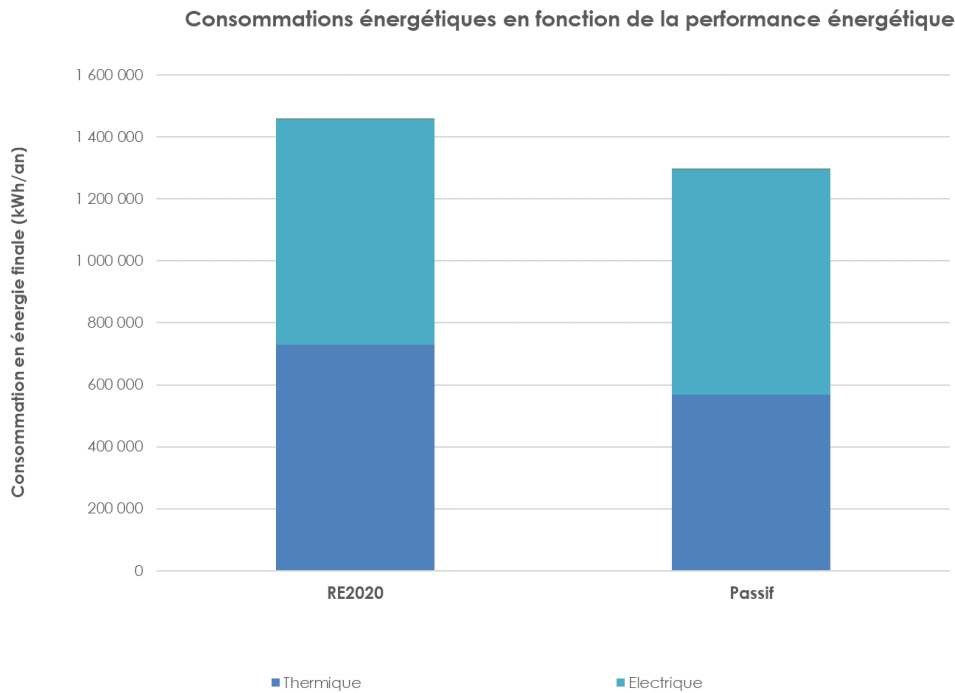


Illustration n°33 : Graphique des consommations énergétiques en fonction de la performance énergétique

L'analyse de ces données permet plusieurs constats :

- **L'électricité domestique et technique représente une part importante (environ 40%)** de la consommation d'énergie. Ainsi, **les efforts sur la conception du bâti (enveloppe notamment) n'ont qu'un impact limité** sur les **consommations globales**.
- **En RE2020, les besoins en énergie électrique sont quasiment équivalents** aux **besoins thermiques**.
- Les **besoins en énergie électrique supplantent** les besoins en énergie thermiques sur le **bâti passif**.
- **Les économies d'énergie** réalisées entre la RE2020 et le niveau passif sont d'environ **11%**, liées aux baisses de consommations en **énergie thermique**.

C. Eclairage public

1. Rôles de l'éclairage public

L'éclairage public en milieu urbain a **plusieurs rôles** :

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

D'une manière, l'amélioration de la visibilité dans des conditions nocturnes permet :

- De **diminuer l'éblouissement** dû aux feux des véhicules, d'améliorer l'**estimation des distances**, et ainsi de favoriser la **sécurité** des déplacements, des personnes et des biens ;
- De **valoriser** les espaces publics.

A noter que les **dépenses énergétiques** liées à l'éclairage public du projet se trouveront **supportées par la collectivité**.

2. Choix des dispositifs

L'éclairage public constitue une source de **dépenses énergétiques majeures** pour les collectivités. Ainsi, une étude de l'ADEME montre que l'éclairage public des communes de moins de 2 000 habitants (soit 25% de la population française) représente la moitié de leur consommation d'énergie électrique. Considérant que la moitié du parc actuel d'éclairage urbain étant composé de matériels obsolètes et énergivores, le **potentiel de réduction** de la consommation d'énergie est estimé par l'ADEME entre **50% et 75%**.

Un projet d'aménagement urbain tel que celui-ci implique la mise en œuvre de dispositifs d'éclairage non négligeables. Il faudra bien sûr mettre en œuvre des dispositifs suffisants pour assurer la **sécurité** des déplacements, des personnes, des biens, **valoriser** les espaces publics. Toutefois, il conviendra également d'effectuer des choix de dispositifs **économiques en énergie**, judicieusement placés, **adaptés aux usages réels** tant dans le temps que dans l'espace, réduisant ainsi la **pollution lumineuse** et limitant la **perturbation de la biodiversité**. Indirectement, cela contribue par ailleurs à **réduire les émissions de GES**.

La **pollution lumineuse** a en effet un **impact considérable**, notamment sur la biodiversité. Elle conduit à modifier le comportement, l'orientation des **espèces animales nocturnes** comme les chiroptères, les oiseaux, les amphibiens, les insectes, et peut ainsi causer indirectement une **mortalité** supplémentaire pour des espèces protégées. La pollution lumineuse peut également impacter la **flore**, en perturbant la photosynthèse. Elle conduit ainsi à modifier les **habitats naturels**. En outre, elle peut également avoir un impact sur la **santé humaine** en perturbant le **sommeil** et les **synchronisations hormonales**.



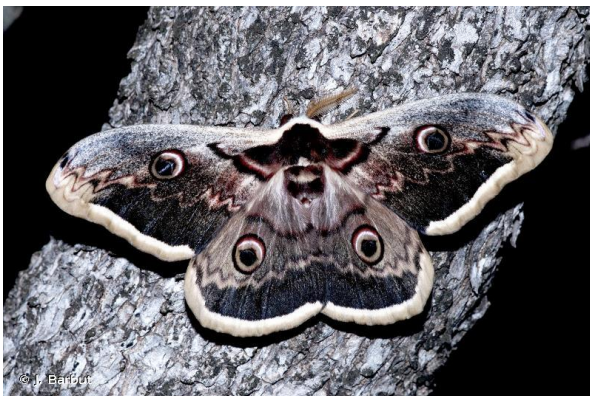
Depuis une cinquantaine d'années, le **Petit rhinolophe** (*Rhinolophus hipposideros*) a connu un très fort déclin (tombant à moins de 1% des populations). Des études récentes montrent que l'éclairage réduit son activité de manière spectaculaire, retarde le développement des jeunes et pourrait même parfois anéantir toute une colonie.

Crédit photo : Nuitfrance.fr

Les 2/3 des oiseaux migrateurs migrant de nuit, s'orientant notamment sur la vision et la position des étoiles. Même si ceci est peu documenté à l'heure actuelle, la pollution lumineuse littorale est notamment susceptible de perturber les oiseaux d'eaux.

En outre, les passereaux comme la **Mésange charbonnière** (*Parus major*) voient leur rythme de vie très perturbé lorsque leur nichoir est éclairé.

Crédit photo : INPN



Les insectes crépusculaires ou nocturnes tels le **Grand Paon de Nuit** (*Saturnia Pyri*) utilisent la lumière des étoiles pour se diriger la nuit. Ils sont attirés et désorientés par les sources lumineuses (phototaxie positive, concernant 99% des moustiques, papillons, mouches et coléoptères) qui constituent un piège écologique, altérant leur comportement de reproduction et d'alimentation. 30 à 40% des insectes s'approchant d'un lampadaire meurent peu de temps après (prédation, hyperthermie, déshydratation).

Crédit photo : INPN

L'augmentation de la pollution lumineuse est notamment **observable par satellite** à l'échelle mondiale, surtout dans les pays industrialisés.

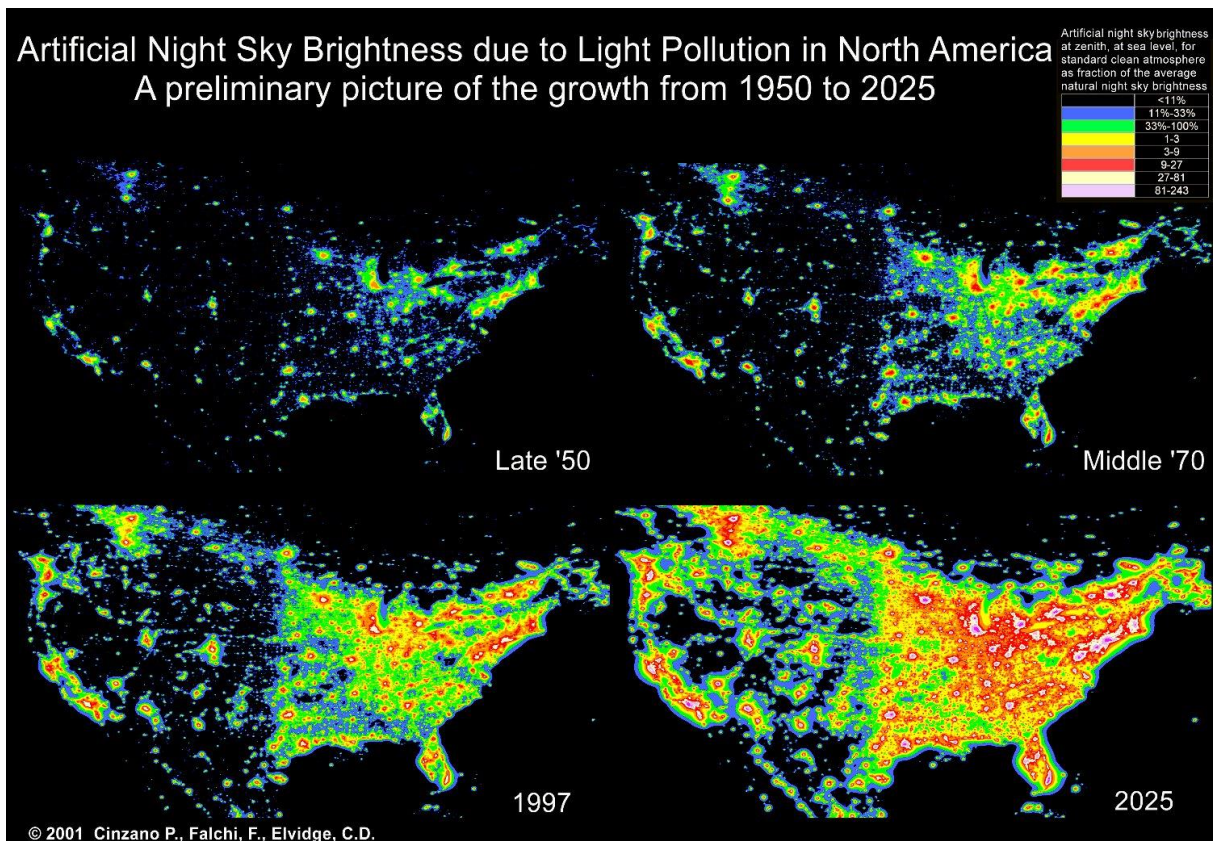


Illustration n°34 : Estimation de l'évolution de la pollution lumineuse en Amérique du Nord entre 1950 et 2025 (source : Cinzano, Falchi, Elvidge, 2001).

Le principe général de lutte contre les pollutions lumineuse est de restreindre l'éclairage où cela est nécessaire et lorsque cela est nécessaire.

3. Préconisations

En vue de **réduire la pollution lumineuse** et **réduire le coût** énergétique et financier tout en assurant **sécurité** et **valorisation des espaces publics**, la conception d'un dispositif d'éclairage urbain doit suivre les **principes suivants** :

- Recourir à des luminaires dont l'**orientation** se limite tant que possible à la **zone à éclairer**. Il apparait judicieux à cette occasion d'identifier en amont les secteurs les plus sensibles à la pollution lumineuse du point de vue de la **biodiversité** en vue de maintenir des **zones non-éclairées**.
- Utiliser des lampadaires équipés de **réflecteurs à haut rendement**, dont l'**ampoule** est **encastrée** dans le luminaire à **verre plat**. Cela permet de restreindre la zone éclairée.
- Choisir des lanternes préférentiellement **recyclables** et facilement **accessibles** pour l'entretien, assurant une meilleure longévité.
- **Limiter la consommation d'énergie** en définissant une valeur cible (8 kWh/m/an par exemple).
- **Ajuster la puissance d'éclairage** à la hauteur des mats en fonction de l'utilisation du secteur éclairés, via des études photométriques. Il peut être intéressant de définir des **puissances limites** en fonction de la largeur des rues et de leur importance, par exemple :
 - o Pour les rues d'une largeur inférieure à 10 m, une valeur cible de 2 W/m avec une valeur limite de 3 W/m ;
 - o Pour les rues d'une largeur supérieure à 10 m, une valeur cible de 4 W/m avec une valeur limite de 6 W/m.

- Optimiser la **gestion temporelle** du fonctionnement de l'éclairage :
 - o **Centralisation** des commandes d'éclairage public, gestion par **horloge astronomique** (programmation du fonctionnement selon les heures de lever/coucher du soleil, prise en compte du changement d'heure) ou un **interrupteur crépusculaire** (déclenchant l'éclairage sous un seuil de luminosité de 40 lux pendant 5 minutes par exemple) couplé à une horloge (**coupure de l'éclairage en pleine nuit**) ;
 - o Lorsqu'une coupure complète nocturne n'est pas envisageable, la mise en place d'un **variateur de puissance** permettant d'abaisser l'éclairage progressivement permet de réduire les consommations électriques tout en augmentant la durée de vie des lampes.
- **Optimiser l'éclairage passif** par la mise en œuvre de **catadioptrés** ou de **bandes réfléchissantes**, au niveau des giratoires par exemple.
- Utiliser des **lampes économes**, efficaces et respectueuses de l'environnement :
 - o Préférentiellement, des lampes de type **LED** permettant une bonne efficacité lumineuse couplée à une excellente durée de vie ;
 - o A défaut, des **lampes à vapeur de sodium Haute Pression** présentant une très bonne efficacité lumineuse et émettant une lumière monochromatique ;
 - o A défaut des 2 précédents choix, des lampes à iodure métalliques présentant une bonne efficacité lumineuse mais une durée de vie plus faible.
- Coupler l'éclairage avec des **systèmes de production d'énergie renouvelable** lorsque cela est possible. A noter toutefois que les systèmes d'éclairage couplés à des capteurs photovoltaïque n'est pas des plus judicieuse au regard de l'investissement (perte de capacité des batteries, et perte de la puissance électrique à long terme).
- Définir un **plan de maintenance** de l'éclairage pour garantir son efficacité et sa pérennité.

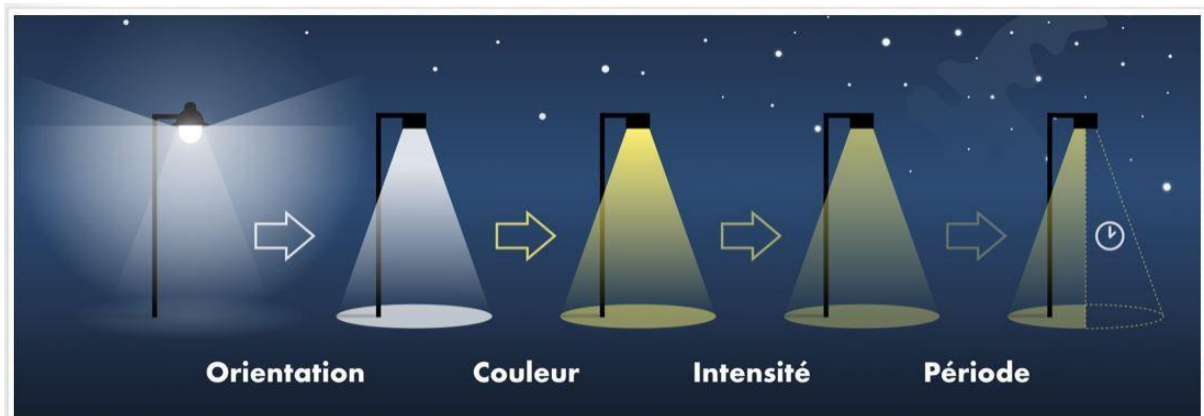


Illustration n°35 : Vers un meilleur éclairage des espaces publics (Source : RICEMM.org)

4. Consommation énergétique attendue pour l'éclairage public

Sur la base du plan masse, deux scénarios sont étudiés pour estimer les besoins en énergie finale, la facture énergétique et les émissions de CO₂ qui en découlent :

- Un **premier scénario** avec des dispositifs LED fonctionnant en continu la nuit ;
- Un **second scénario** avec des dispositifs LED avec une extinction entre 22h et 5h.

Le tableau suivant détaille les consommations estimées pour chacun d'eux.

	Equipement de base	Systèmes LED
Linéaire de réseaux d'éclairage en ml	410	410
Consommations estimées en kWh _{ef}	2 706	1 599
Emissions de CO2 (tCO2/an)	0,27	0,16

Illustration n°36 : Comparaison des scénarios d'éclairage public

Pour un linéaire total de **410 m de voiries éclairées**, il est possible d'estimer la consommation prévisionnelle en énergie finale de **2 706 kWh_{ef}/an** pour le scénario utilisant un **équipement de base**. La mise en œuvre de **systèmes LED** permet toutefois de réduire cette consommation à **1 599 kWh_{ef}/an**, soit une **réduction de près de 60%** des consommations énergétiques. Les **coûts énergétiques** pour la collectivité sont **réduits** dans des proportions comparables.

A noter qu'une approche économique sur ces systèmes est délicate, le domaine évoluant très rapidement. Toutefois, il est raisonnable de considérer une **durée de vie supérieure** à 50 000 heures pour les **systèmes LED**, ce qui réduit grandement les opérations de remplacement par rapport aux lampes traditionnelles, réduisant ainsi les **coûts de maintenance**.

D. Transports

Les **dépenses énergétiques** liées aux transports motorisés vont dépendre du **nombre de personnes amenées à travailler sur site** et de leurs **habitudes** (lieu de résidence, mode de transport, type de véhicule, covoiturage, part de télétravail...).

Cela va également dépendre de la **nature des activités** amenées à s'implanter sur site (besoins en **matières premières**, **origine**, **destination des produits**, volumes et masses de fret...)

Au-delà de la consommation énergétique, le transport a également un **impact sur l'effet de serre**.

La **localisation du projet** par rapport au bassin d'emploi et sa **desserte par les transports en commun** vont fortement conditionner l'**impact énergétique** liée à l'usage des **véhicules motorisés**. La localisation du site au sein du maillage de **déplacements doux** (voies cyclables, cheminements piétons) de l'agglomération va par ailleurs avoir une incidence sur la place du véhicule individuel.

Ainsi, il apparaît nécessaire d'**optimiser les itinéraires** des usagers pour réduire les émissions polluantes liées aux transports.

1. Pollution liée aux véhicules à moteurs

Les **véhicules motorisés** fonctionnant aux **énergies fossiles** sont sources de nombreuses **émissions polluantes**. Ces émissions ont des effets nocifs tant sur la qualité de l'air (pollution), que sur le changement climatique (émission de GES) et sur la santé (maladies respiratoires entre autres).

Les polluants produits par le trafic routier sont variés et peuvent affecter la **santé** de plusieurs façons.

- **Les oxydes d'azote (NOx)** : ils sont produits lorsque les véhicules brûlent l'azote présent dans l'air et les composés azotés qui se trouvent dans les combustibles fossiles. Les oxydes d'azote irritent les voies respiratoires, en particulier les poumons.
- **Le monoxyde de carbone (CO)** : ce gaz est produit par la combustion incomplète de l'essence et du diesel. Il est toujours présent dans les gaz d'échappement, mais le moteur des véhicules en produira davantage s'il est mal entretenu. Le monoxyde de carbone diminue la capacité du sang de transporter l'oxygène.
- **Les composés organiques volatils (COV)** : c'est une vaste famille de composés contenant du carbone qui s'évaporent facilement. Les gaz d'échappement des véhicules contiennent plusieurs COV. Certains d'entre eux, comme le benzène et le 1,3-butadiène, peuvent causer le cancer. Toutefois, aux concentrations que l'on retrouve actuellement dans l'environnement, le risque est minime.
- **Les particules fines en suspension** : ces petites particules contiennent une multitude de substances dont des métaux, des acides, du carbone et des hydrocarbures aromatiques polycycliques. Certaines particules sont émises dans les gaz d'échappement des véhicules tandis que d'autres sont formées dans l'atmosphère par des réactions chimiques entre les polluants émis dans les gaz d'échappement. Les particules fines aggravent les symptômes des personnes atteintes de maladies respiratoires ou cardiovasculaires.
- **L'ozone troposphérique** : il n'est pas émis directement par les véhicules, mais est formé par des réactions chimiques entre les oxydes d'azote et les COV. Ces réactions sont stimulées par la lumière du soleil; c'est pourquoi les concentrations d'ozone au niveau du sol sont plus élevées l'été. L'ozone est un irritant des voies respiratoires et peut déclencher des réactions chez les asthmatiques. L'ozone troposphérique ou ozone des basses couches de l'atmosphère ne doit pas être confondu avec la couche d'ozone de la stratosphère qui nous protège contre les rayons ultraviolets.

La pollution atmosphérique d'origine automobile cause deux types d'effets sur la santé :

- **Les effets aigus** : ils se produisent rapidement (en quelques heures ou quelques jours) après une exposition à des niveaux élevés de pollution. Dans certains cas, la pollution atmosphérique peut aggraver les symptômes éprouvés par les personnes atteintes de maladies cardiaques ou pulmonaires. Des études scientifiques menées au Canada et dans d'autres pays ont démontré que le nombre de décès et d'hospitalisations liés à des problèmes respiratoires et cardiaques augmentait lorsque les niveaux d'ozone ou de particules fines en suspension augmentaient.
- **Les effets chroniques** : ils se produisent après une exposition prolongée (quelques mois ou quelques années). Des études menées surtout en Europe ont démontré que les enfants vivant dans des secteurs ayant une plus grande densité de trafic souffraient davantage de problèmes respiratoires que les autres enfants.

La pollution atmosphérique d'origine automobile a par ailleurs des effets sur le **changement climatique**. La combustion des énergies fossiles entraîne le relargage massif dans l'atmosphère de **dioxyde de carbone (CO₂)** provenant du carbone accumulé dans le sous-sol depuis le Paléozoïque. Le CO₂ constitue ainsi le **principal gaz à effet de serre** de par son **abondance**.

Par ailleurs, les **transports motorisés** demeurent d'importantes sources de **nuisances sonores** et de **danger** pour les personnes amenées à travailler sur site, les riverains, les personnes empruntant le réseau routier mais également pour la biodiversité. Il apparaît ainsi d'autant plus important d'encourager les alternatives aux véhicules individuels.

2. Propositions visant à limiter l'impact des transports

Les moyens de **réduire les incidences** des transports sont variés :

- Conforter les **liaisons douces** pour favoriser une **circulation sécurisée, agréable** et la plus **directe** possible pour les **piétons et cycles** pour les déplacements quotidiens ;
- Développer les **liaisons douces** à l'échelle de l'**agglomération** ;
- Donner la **priorité aux piétons et cycles** sur les voiries partagées, notamment en **limitant la vitesse** et en créant des « **zones de rencontre** » incitant les véhicules motorisés à ralentir ;
- Favoriser la desserte du quartier par les **transports en commun**, en choisissant soigneusement l'**emplacement des arrêts**, en adaptant la **fréquence de desserte** aux besoins quotidiens, en définissant des circuits de desserte cohérents ;
- Favoriser le **covoiturage** ou l'acquisition de **véhicules partagés** ;
- Réduire la **distance** entre logement et lieux de travail ;
- **Rapprocher** les logements des **administrations, services, écoles et commerces** ;
- Implanter des zones de **stationnements** collectifs **en périphérie du quartier**, pour favoriser les circulations douces en son sein ;
- **Limiter le nombre de places** de stationnement au sein du quartier.

E. Energie gris liée à la construction des bâtiments

L'**énergie grise** des matériaux, ou **énergie intrinsèque**, correspond à la **quantité d'énergie consommée tout au long de leur cycle de vie** : depuis l'extraction, la transformation, la production, la fabrication, le transport, la mise en œuvre, l'entretien et jusqu'au recyclage ou à la destruction en fin de vie. L'énergie grise n'intègre toutefois pas l'énergie d'utilisation dépendant de l'usage de l'utilisateur.

Les **Analyses du Cycle de Vie (ACV)** permettent de travailler sur ce paramètre et de connaître ainsi l'impact environnemental d'un projet. Elles agissent ainsi comme un outil **d'aide à la décision**.

Le tableau suivant présente l'énergie grise de différents matériaux (source : Consoglobe.be).

Énergie grise des métaux :

Acier : 60 000 kWh/m³
Cuivre : 140 000 kWh/m³
Zinc : 180 000 kWh/m³
Aluminium : 190 000 kWh/m³

Énergie grise des canalisations :

Tuyau en grès : 3 200 kWh/m³
Tuyau fibrociment : 4 000 kWh/m³
Tuyau PVC : 27 000 kWh/m³
Tuyau d'acier : 60 000 kWh/m³

Énergie grise des murs porteurs :

Béton poreux (cellulaire) : 200 kWh/m³
Brique silico-calcaire creuse : 350 kWh/m³
Brique terre cuite (nid d'abeilles) : 450 kWh/m³
Béton : 500 kWh/m³
Brique silico-calcaire de parement : 500 kWh/m³
Brique terre cuite perforée : 700 kWh/m³
Brique ciment : 700 kWh/m³
Brique terre cuite pleine : 1 200 kWh/m³
Béton armé : 1 850 kWh/m³
Brique terre crue : 120 kWh/m³

Énergie grise des enduits :

Enduit argile ou terre crue : 30 kWh/m³
Enduit à la chaux : 450 kWh/m³
Enduit plâtre : 750 kWh/m³
Enduit ciment : 1 100 kWh/m³
Enduit synthétique : 3 300 kWh/m³

Energie grise de la charpente :

Bois d'œuvre : 180 kWh/m³
Bois lamellé-collé : 2 200 kWh/m³

Énergie grise des cloisons légères :

Panneau de plâtre cartonné : 850 kWh/m³
Panneau de plâtre fibreux : 900 kWh/m³
Panneau d'aggloméré : 2 200 kWh/m³
Panneau fibre de bois (dur) : 3 800 kWh/m³
Contre-plaqué : 4 000 kWh/m³

Énergie grise de l'isolation thermique :

Fibres de lin : 30 kWh/m³
Fibres de chanvre : 40 kWh/m³
Cellulose de bois : 50 kWh/m³
Laine de mouton : 55 kWh/m³
Laine de roche : 150 kWh/m³
Perlite : 230 kWh/m³
Laine de verre : 250 kWh/m³
Argile expansé : 300 kWh/m³
Panneau de liège : 450 kWh/m³
Polystyrène expansé : 450 kWh/m³
Polyesters : 600 kWh/m³
Polystyrène extrudé : 850 kWh/m³
Mousse de polyuréthane : 1 000 à 1 200 kWh/m³
Panneau fibre de bois (tendre) : 1 400 kWh/m³
Verre cellulaire : 700 à 1 300 kWh/m³

Énergie grise de la couverture :

Tuile béton : 500 kWh/m³
Tuile terre cuite : 1 400 kWh/m³
Tuile fibrociment : 4 000 kWh/m³

Phase 3 : approvisionnement en énergie du projet par les énergies renouvelables

A partir des hypothèses de consommations énergétiques détaillées en phase 2, il nous est possible de déterminer le **taux de couverture théorique** de chaque **énergie renouvelable** pour répondre aux besoins énergétiques du quartier.

A. Production d'électricité par petit et moyen éolien

Le site du projet, bien que localisé sur un point haut, présente **des haies et boisements qui constituent des obstacles majeurs** au vent. La construction des bâtiments et la végétalisation du site va accentuer les contraintes pour l'implantation du petit éolien. A noter qu'en **zone construite**, il est plus efficace de placer les petites éoliennes sur toiture pour **minimiser les turbulences** liées aux constructions.

1. Hypothèse retenue :

La mise en œuvre d'une **petite éolienne** permet de produire environ **2 500 kWh/an** d'électricité pour un investissement d'environ 15 000 € TTC/unité hors génie civil.

Pour une hauteur d'éolienne H (pâles incluses), les mats doivent se trouver espacés de H+10 m. Ainsi, pour une **éolienne de 12 m**, la **distance** entre 2 éoliennes doit être de **22 m**. A noter qu'en zone construite, le positionnement des éoliennes peut être fait en toiture pour minimiser les turbulences liées au bâti.

2. Production d'énergie envisageable :

Le schéma suivant présente une trame de 22 m appliquée au projet permettant de visualiser l'implantation possible du petit éolien.

Etant donné l'emprise du projet et les toitures projetées, on considère qu'il serait possible d'implanter au maximum **71 petites éoliennes**, ce qui correspond à un potentiel théorique de production annuel de **698 MWh**.

Ce potentiel restera toutefois à vérifier par une étude précise des vents à l'issue de l'aménagement.



Illustration n°37 : Schéma d'implantation possible du petit éolien sur une trame de 22 m

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

La pose des **panneaux solaires** est envisageable en **toiture des bâtiments**. Elle est également envisageable par la mise en œuvre d'**ombrières** sur les places de stationnements. La mise en œuvre de capteurs en **brise-soleil** doit être étudiée en **cas par cas** pour tenir compte des ombres portées.

1. Hypothèse retenue :

D'une manière générale, en prenant en compte les édifices techniques des bâtiments, les ombres générées par les châssis ainsi que les contraintes d'intégration architecturale (marges de recul par rapport aux façades), on estime que **80% des surfaces de toitures** sont mobilisables pour la mise en œuvre de panneaux solaires.

2. Production d'énergie envisageable :

A partir des hypothèses de programmation du projet, on en déduit les surfaces de panneaux solaires pouvant être mises en œuvre à l'échelle de l'opération.

Typologie	Emprises cumulées	Hypothèse d'implantation des panneaux solaires	Surfaces de panneaux solaires envisageables
Bâtiments d'activités	15 000 m ²	80% des surfaces de toitures	12 000 m ²
		Total	12 000 m²

Illustration n°38 : estimation des surfaces disponibles pour l'implantation de panneaux solaires sur l'ensemble de l'opération

Au total ce sont ainsi **12 000 m² de panneaux solaires** qui peuvent être mis en œuvre sur les **toitures des bâtiments** à l'échelle du projet.

Afin d'estimer la production d'énergie envisageable, il importe de considérer la productivité annuelle des dispositifs en fonction de leur technologie (voir annexe).

Productivité annuelle	Electricité (kWh/kWc)	Chaleur (kWh/m ²)
Capteurs en toiture	1 025	350
Capteurs en brise-soleil	1 000	350
Membranes en toitures	950	Non adapté

Illustration n°39 : productivité moyenne annuelle estimée pour les différents types de capteurs solaires envisageables à l'échelle du projet

Le tableau suivant présente ainsi la **production énergétique annuelle** potentielle en fonction des surfaces de panneaux solaires envisageables précédemment calculées (dont ombrières pour le photovoltaïque), en considérant un **rendement moyen de 10% pour le solaire photovoltaïque**.

	Electricité (kWh/kWc)	Chaleur (kWh/m ²)
Production annuelle potentielle	1 230	4 200
Part de la consommation pour un niveau RE2020 (usages domestiques compris)	169%	576%

Illustration n°40 : productivité moyenne annuelle estimée pour la production d'énergie solaire à l'échelle du projet

Production de chaleur :

La mise en œuvre de **capteurs solaires thermiques** permettrait théoriquement de **couvrir totalement les besoins en chaleur** du projet, tant dans le cadre de la mise en œuvre d'habitat RT2020 que d'habitat passif.

Toutefois, ce calcul reste **théorique** : en réalité, la **rentabilité** d'une installation d'ECS solaire et sa **pérennité** sont assurées pour couvrir **40% des besoins d'ECS** ou 60% des besoins de chauffage+ECS. En effet, le surdimensionnement d'une installation entraîne un **risque de surchauffe** du fluide caloporteur en été et donc un risque de dégradation de l'installation.

En outre, il convient de noter que plus le taux de couverture est élevé, plus le volume de stockage est important (à raison de 70 L/m² de capteur, ce seraient ainsi **840 m³ de stockage** qui seraient nécessaires à l'échelle de l'opération) et plus la **taille de chaufferie** doit être importante.

Production d'électricité :

La mise en œuvre de capteurs **solaires photovoltaïques** sur toitures permettrait de **couvrir totalement les besoins en énergie électrique** du projet, quel que soit le niveau de performance attendu.

Toutefois, il convient de noter que le **principal frein** à cette mise en œuvre vient du **stockage massif de l'énergie électrique**, les pics de production ne coïncidant pas avec les besoins de consommation tant sur une journée que sur une année. Dès lors, la **rentabilité** de l'opération dépend essentiellement de la possibilité de **revendre l'énergie** produite en la réinjectant sur le réseau électrique EDF.

C. Production de chaleur par aérothermie

L'**aérothermie** consiste en l'**extraction de chaleur de l'air ambiant** et implique le recours à une **pompe à chaleur** air/eau. Du fait de son **rendement important** et malgré la nécessaire utilisation permanente d'énergie électrique pour son fonctionnement, cette solution se trouve **assimilée à une énergie renouvelable**.

1. Hypothèse retenue :

Le **coefficient de performance** moyen de tels dispositifs est d'**environ 2,7**, ce qui signifie que 1 kWh électrique consommé permet la restitution de 2,7 kWh d'énergie thermique, soit que 37 kWh électrique permettraient la restitution de 100 kWh d'énergie thermique.

2. Production d'énergie envisageable :

La mise en œuvre de tels dispositifs permettrait ainsi d'assurer **63% des besoins en chaleur** du projet.

D. Production de chaleur par géothermie

La géothermie consiste en l'**extraction de chaleur du sol ou d'une nappe** et implique le recours à une **pompe à chaleur**. Du fait de son **rendement important**, supérieur à l'aérothermie, et malgré la nécessaire utilisation permanente d'énergie électrique pour son fonctionnement, cette solution se trouve **assimilée à une énergie renouvelable**.

L'estimation du **potentiel géothermique** du site nécessite la réalisation de **forages**.

1. Hypothèse retenue :

Le **coefficient de performance** moyen de tels dispositifs est d'**environ 3,5**, ce qui signifie que 1 kWh électrique consommé permet la restitution de 3,5 kWh d'énergie thermique, soit que 29 kWh électrique permettraient la restitution de 100 kWh d'énergie thermique.

2. Production d'énergie envisageable :

Sous réserve de faisabilité, la géothermie permettrait théoriquement d'assurer **71% des besoins en chaleur** du projet (hors éventuels process industriels).

E. Production de chaleur par bois énergie

La couverture des besoins en chaleur par le bois énergie dépend de la **technologie utilisée** (chaudière pour des activités) et du **type de combustible** (plaquette, granulés pour des activités).

1. Hypothèse retenue :

On considère qu'une **chaudière bois à granulés** correctement dimensionnée permet de couvrir **100% des besoins de chaleur** tandis qu'une **chaudière bois plaquette** permet d'en couvrir **80%**.

2. Production d'énergie envisageable :

La filière bois énergie permettrait théoriquement de fournir entre **80%** (chaudière bois plaquette) et **100% des besoins de chaleur** (chaudière bois granulés) de l'ensemble de l'opération.

F. Synthèse

Le tableau suivant établit une synthèse des taux de couverture atteignables par les EnR en fonction des différentes solutions de production mises en œuvre à l'échelle du projet, sur la base des consommations associées au niveau de performance RE2020 calculées précédemment (voir phase I).

EnR	Taux de couverture par les EnR RE2020		Taux de couverture par les EnR Passif	
	Chaleur	Electricité	Chaleur	Electricité
Solaire thermique	576%	0%	741%	0%
Solaire photovoltaïque	0%	169%	0%	169%
Chaufferie bois granulés	100%	0%	100%	0%
Chaufferie bois plaquette	80%	0%	80%	0%
PAC géothermie	71%	0%	71%	0%
PAC aérothermie	63%	0%	63%	0%
Micro éolien	0%	55%	0%	55%

Illustration n°41 : Taux de couvertures des besoins énergétiques par les EnR mobilisables à l'échelle du projet

A la lumière de ces éléments, **le solaire photovoltaïque permettrait à lui seul de couvrir 100% des consommations en énergie électrique et d'alimenter des pompes à chaleur générant l'énergie thermique de l'ensemble du bâti.**

La création d'un projet à **énergie positive** (consommant moins d'énergie qu'il n'en produit) peut également être envisagée à partir d'un **mix énergétique** (énergie électrique fournie par photovoltaïque / énergie thermique fournie par solaire thermique ou biomasse) en **réduisant** de manière significative les **consommations énergétiques**. Il importe pour cela de définir un **cahier des charges très contraignant** en termes de performances énergétique pour les porteurs de projets, ce qui s'avère difficile malgré l'intérêt financier pour eux à long terme dans le contexte économique actuel. Une **sensibilisation** et un **accompagnement** des porteurs de projets sont par ailleurs indispensables.

Phase 4 : étude d'opportunité de création d'un réseau de chaleur alimenté par les EnR

Un **réseau de chaleur** consiste en un **système de distribution d'énergie thermique** (chauffage, ECS) pour **plusieurs bâtiments** depuis un dispositif de **chaufferie mutualisé** (voir annexe), permettant une **optimisation énergétique** et indirectement une baisse des émissions en GES.

La décision de mise en œuvre de telles solutions peut toutefois aller au-delà de la simple optimisation énergétique, notamment dans les contextes urbains peu denses. Ceci peut notamment être lié à la **volonté de structurer et dynamiser la filière locale bois énergie**, en vue de **créer des emplois** locaux et pérennes. Par ailleurs, il convient de mentionner que la mutualisation des systèmes de production d'énergie thermique permet de **mieux contrôler leur entretien**, leur pérennité et donc leur émission de GES, tout en **mutualisant les coûts** de maintenance. En outre, la mise en œuvre de tels systèmes mutualisés permet d'envisager plus sereinement les **mutations énergétiques** sur un territoire, dans un contexte de coût croissant des ressources fossiles.

En l'état actuel, le site du projet ne se trouve localisé à proximité d'**aucun réseau de chaleur existant**. Il apparaît donc nécessaire de vérifier l'**opportunité technico-économique** de réaliser un **réseau de chaleur biomasse** à l'échelle de l'opération ou **en micro-réseaux localisés**.

G. Etude d'opportunité du réseau de chaleur sur le secteur

L'étude d'opportunité vise à vérifier la **possibilité de raccordement** du projet à un réseau de chaleur, pouvant notamment être alimenté par la filière bois énergie. Il convient donc :

- De définir les zones sur lesquelles une **étude de faisabilité technico-économique** serait à mettre en œuvre pour en confirmer l'opportunité ;
- De définir les **incitations ou obligations** à retranscrire au travers du règlement de l'opération en vue de favoriser l'énergie bois.

Dans le cas présent, nous considérons la création d'un **réseau de chaleur** fonctionnant au **bois** car cette filière est **bien développée** en Bretagne, qu'il existe une marge de progression pour optimiser sa structuration.

H. Notion de densité énergétique pour un réseau de chaleur

En vue de mieux appréhender l'opportunité d'un réseau de chaleur, il importe d'analyser en première approche la **densité énergétique**. Cette dernière correspond à la quantité d'énergie thermique consommée chaque année par les bâtiments par unité de longueur du réseau de distribution sur une année, exprimée en **kWh/ml/an**.

Ainsi, en milieu rural, il est considéré qu'un **réseau de chaleur** peut avoir un **intérêt** dès **1 500 kWh/ml/an**. Toutefois, la densité minimum des **réseaux urbains** se situe autour de **8 000 kWh/ml/an**.

L'implantation d'un réseau de chaleur est fortement influencée par cette densité énergétique : le **regroupement d'activités** ayant de gros besoins thermiques dus aux **process industriels** sera plus adapté à une chaufferie centralisée qu'une trame diffuse d'activité tertiaire, qui nécessitera par ailleurs des extensions de réseau considérables et coûteuses.

I. Etude d'opportunité

Plus les bâtiments sont efficaces sur l'énergie thermique, moins leurs besoins sont élevés, plus il apparaît difficile de rentabiliser un réseau de chaleur. Ainsi, dans le cadre de l'aménagement d'un parc d'activité au standard rE2020, **l'opportunité de création d'un réseau de chaleur ne se justifie pas pour les seuls besoins en chauffage des locaux administratifs. L'opportunité reste à voir en fonction des besoins en énergies thermiques liés aux activités et process industriels, indéfinissables à ce stade.**

Phase 5 : étude de l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables

Les **consommations énergétiques** attendues à l'échelle du projet ont été estimées précédemment en **phase 2**, en fonction de la performance énergétique du bâti. Dès lors, il convient d'étudier les **différentes possibilités d'approvisionnement** en énergie qui permettraient de répondre à ces besoins.

A. Définition des scénarios

Différents scénarios d'approvisionnement en énergie sont élaborés à partir de solutions techniques éprouvées et qu'il apparaît cohérent de mettre en œuvre sur ce type d'opération. Le tableau suivant détaille les différents scénarios envisageables pour la production d'énergie thermique et d'énergie électrique, hors process industriels.

Scénario	Chauffage	ECS	Remarque
SC1 Hybride (Gaz + PAC)	Gaz de ville + PAC aérothermique	Gaz de ville + PAC aérothermique	Scénario de référence « au fil de l'eau » 80% de fourniture d'énergie par la PAC COP _{moyen annuel} = 2,3 Gaz en appoint
SC2 PAC Air-Eau	PAC air/eau	PAC air/eau	COP _{moyen annuel} = 2,3
SC3 Bois granulés	Bois granulés	Bois granulés	Chaufferie collective granulés
SC4 PAC sur sondes géothermiques	PAC sur sondes géothermiques	PAC sur sondes géothermiques	

Illustration n°42 : synthèse des équipements envisagés dans le cadre des différents scénarios

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

- Les **consommations en énergie finale** ;
- Les **investissements** requis en fonction des différentes solutions retenues ;
- Les **coûts de fonctionnement** à moyen/long terme ;
- L'**impact environnemental**, au travers de l'analyse des émissions de CO₂ ;

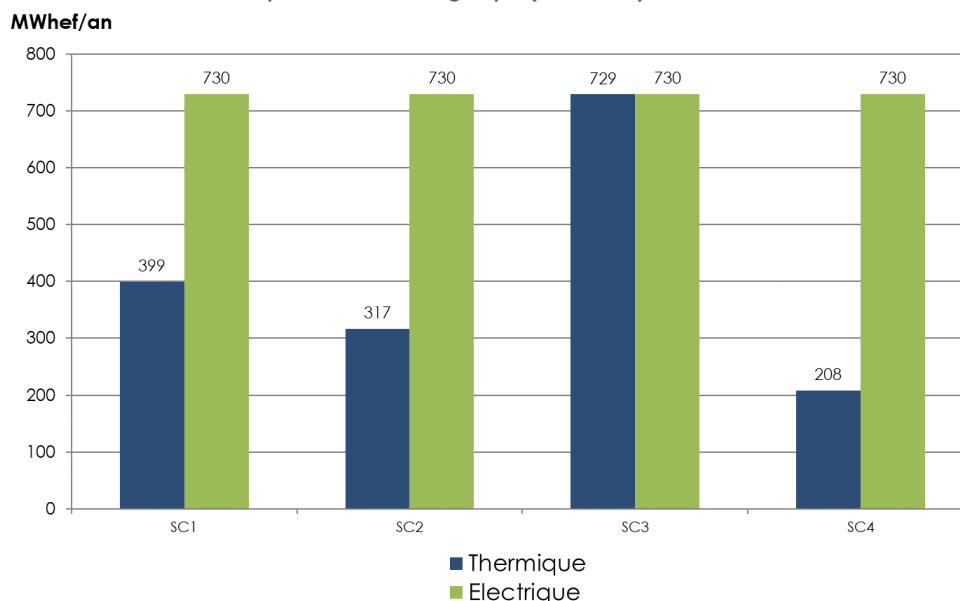
B. Comparaison des consommations en énergie finale

Le graphique suivant permet de comparer la **consommation en énergie finale** attendue à l'échelle du projet pour chaque scénario, en fonction de la performance énergétique du bâti.

RE2020	SC1 Hybride (Gaz + PAC)	SC2 PAC Air-Eau	SC3 Bois granulés	SC4 PAC sur sondes géothermiques
Energie thermique	399	317	729	208
Energie électrique	730	730	730	730
Total	1 129	1 046	1 459	938

Illustration n°43 : Comparaison des consommations annuelles en énergie finale de l'ensemble du projet pour chaque scénario d'approvisionnement en énergie, au standard RE2020 (Mwh/ef/an)

Comparaison des consommations annuelles en énergie finale de l'ensemble du projet pour chaque scénario d'approvisionnement en énergie, en fonction de la performance énergétique (Mwhéf/an) - norme RE2020



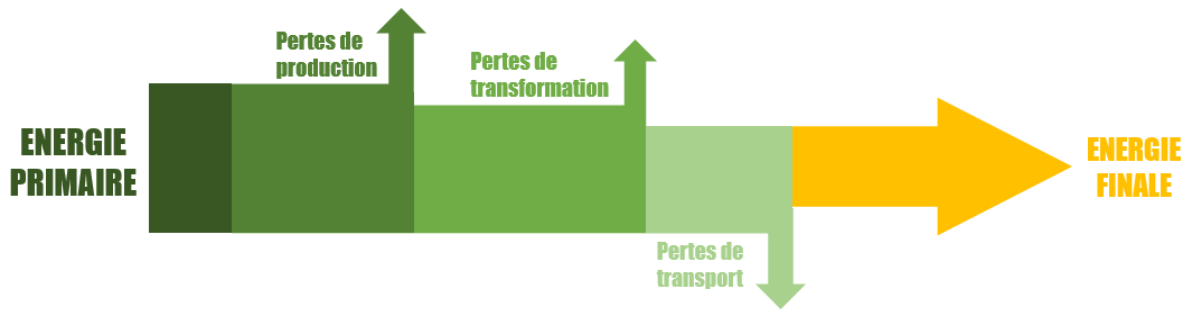
En comparaison des consommations estimées en phase 1 (1459 MWhéf/an en RE2020 ou 1297 MWhéf/an en passif), ces scénarios intègrent l'**approvisionnement en énergie gratuite (solaire actif)**, les notions de **rendement** et d'**appoint**.

On note que les consommations d'énergie électrique sont comparables selon ces scénarios. Seules diffèrent les **consommations en énergie thermique**.

Le **scénario le moins énergivore** apparaît être le scénario SC4 faisant appel à des **PAC géothermiques**. Ce scénario s'appuie sur l'extraction de la chaleur emmagasinée dans le sol pour la production de chauffage et d'ECS, avec un **rendement très favorable** (3,5 kWh extraits pour 1 kWh d'électricité consommé). Les Scénario SC2 et dans une moindre mesure SC1 faisant appel à des **PAC air/eau** (aérothermie) apparaissent également intéressants malgré un **moindre rendement**. Le scénario le **plus défavorable** en termes de consommation d'énergie finale est le SC3 faisant appel à la **filère bois énergie**.

Ce tableau montre que pour des **besoins identiques**, les **consommations en énergie finale** peuvent **varier de manière significative** en fonction du type d'énergie choisi pour approvisionner les bâtiments. Il importe toutefois d'**analyser les coûts associés**, tant pour l'investissement que pour la maintenance et le fonctionnement à long terme.

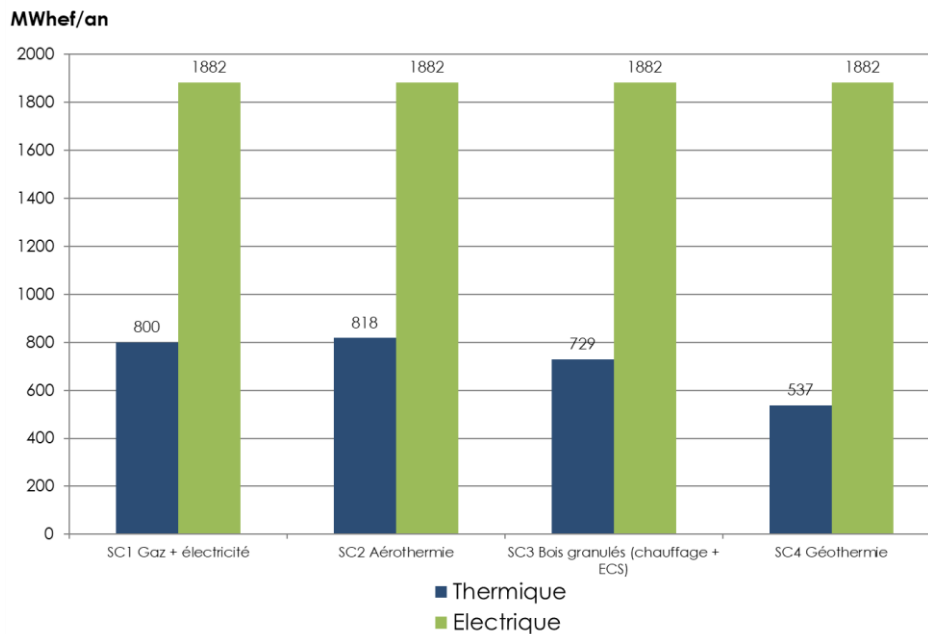
L'analyse de la consommation en énergie finale, telle que relevée au compteur, reste avantageuse. Or, cette approche ne tient pas compte des rendements de production d'énergie en amont du compteur (pertes liées à la production, à la transformation ou au transport), notamment pour l'électricité.



Rapport entre énergie primaire et énergie finale (source : roseidf.org)

Ainsi, en raison du mix énergétique, du rendement des centrales et des pertes du réseau électrique, 1 kWh d'énergie finale consommée correspond à 2,58 kWh d'énergie primaire produite.

Comparaison des consommations annuelles en énergie primaire de l'ensemble du projet pour chaque scénario d'approvisionnement en énergie, en fonction de la performance énergétique (Mwhéf/an) - norme RE2020



En comparant la consommation d'énergie primaire des solutions mises en œuvre, les différences entre les scénarios envisagés sont nettement moins marquées : le rendement des pompes à chaleur (2,7) se trouve contrebalancé par le coefficient appliqué à la production d'énergie électrique (2,58).

C. Comparaison des coûts d'investissement

Les données économiques sur les coûts d'achat d'énergie, d'investissement liés aux différents systèmes et les niveaux de subventions s'avèrent trop fluctuant pour être analysés de manière crédible sur 20 ans.

Les récentes variations marquées du prix de l'énergie, des matières premières, des taux d'emprunt, l'évolution de la politique nationale de subvention des énergies renouvelables et de rachat de l'électricité l'ont particulièrement montré depuis 2022.

D. Comparaison des émissions de GES par la production d'énergie

L'impact sur l'effet de serre des différents scénarios de production d'énergie peut être déterminé en calculant les émissions de CO₂ associées à chacun des scénarios.

o Hypothèses :

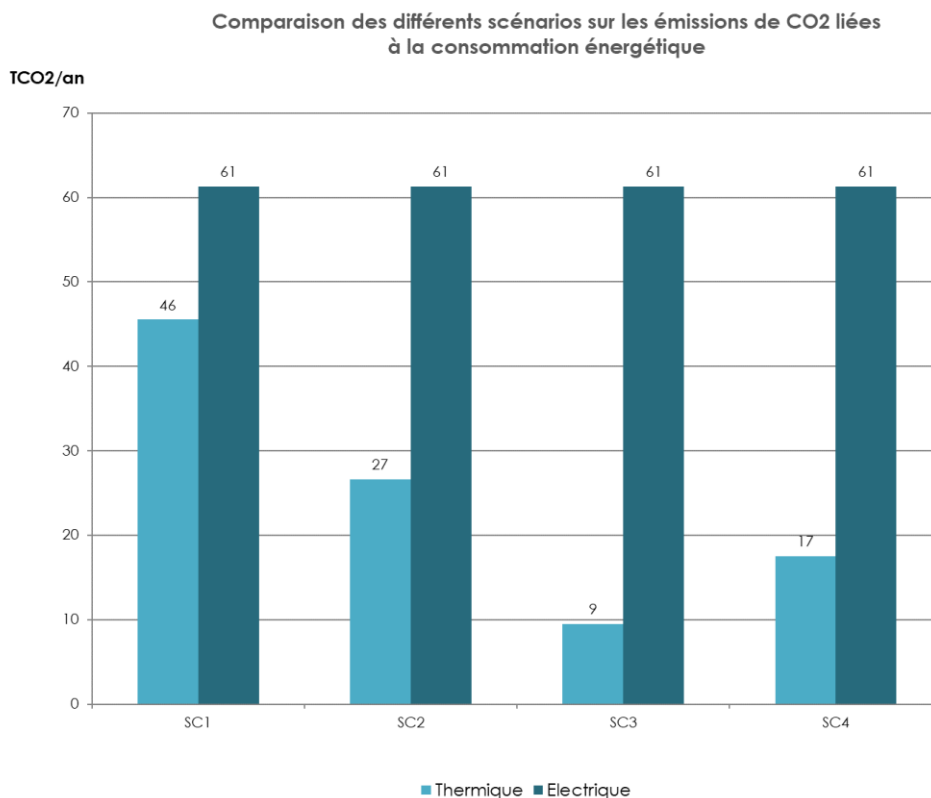
Le tableau suivant présente les émissions de gaz à effet de serre par kWh électrique émis en fonction de l'usage de l'électricité. Les coefficients utilisés sont issus de l'arrêté du 15 Septembre 2006 relatif au Diagnostic de Performance Energétique et du bilan établi par l'ADEME en 2005 sur les émissions de gaz à effet de serre des kWh électriques en fonction de l'usage de l'électricité.

Emissions de CO ₂ de l'électricité selon usage, d'après la note ADEME 2005 (kgCO ₂ /kWhPCE _{ef} , ou tCO ₂ /MWhPCE _{ef})	
Chauffage	0,18
Eclairage	0,1
Cuisson, lavage	0,06
Autres usages résidentiels	0,04

Illustration n°44 : Extrait de la note de cadrage sur le contenu en CO₂ du kWh électrique par usage en France (source : ADEME, 2005)

o Emissions annuelles de CO₂ en fonction des solutions de production d'énergie mises en œuvre :

Le graphique suivant établit pour les émissions annuelles de CO₂ attendues pour chaque scénario pour l'ensemble de l'opération, selon la RE2020.



t/CO ₂ /an	SC1 Hybride (Gaz + PAC)	SC2 PAC Air- Eau	SC3 Bois granulés	SC4 PAC sur sondes géothermi- ques
Thermique	46	27	9	17
Electrique	61	61	61	61
Total	107	88	70	78,

Illustration n°45 : Comparaison des différents scénarios sur les émissions de CO₂ liées à la consommation énergétique du bâti

On note que les **émissions liées à la consommation d'énergies électriques** dominent celles liées à la consommation d'énergie thermique (hors process industriels). Le **scénario de référence SC1** utilisant le gaz naturel conduirait à émettre **107 t CO₂/an** (pour des bâtiments suivant la **RE2020**) et s'avère le plus émetteur. Le scénario SC3 faisant appel à la filière bois reste le moindre émetteur, avec **70 t CO₂/an**.

Les dispositifs de production d'énergie thermique alternatifs au gaz peuvent permettre de **réduire les émissions jusqu'à 80%** par rapport à la référence SC1 (cas du scénario SC3 en RE2020). Les scénarios faisant appel à la filière **bois énergie** et aux **PAC** sont particulièrement **performants** pour permettre de **réduire les émissions de GES** en France, dès lors où la production électrique est essentiellement liée au nucléaire et non à la combustion d'énergies fossiles.

Toutefois, il convient de garder à l'esprit que les éventuelles **fuites de fluides frigorigènes** employés par les PAC peuvent engendrer l'**émission de GES** ayant un **très fort pouvoir de réchauffement climatiques** (jusqu'à 4 000 fois supérieur au CO₂). Cette hypothèse n'a pas été prise en compte dans le présent calcul.

E. Compatibilité avec le contexte énergétique local

Enfin, il convient de rappeler la **très forte dépendance en électricité de la Bretagne** vis-à-vis des territoires voisins (la région ne produit que 10% de l'électricité qu'elle consomme). Dès lors, il apparaît **déraisonnable de promouvoir des systèmes de production d'énergie mobilisant fortement l'électricité** : ceci pourrait notamment conduire à de très fortes demandes en hiver, lors des pics de froid, se traduisant par une **déstabilisation du réseau** et de potentielles **pannes électriques**, l'activation temporaire de **centrales à incinération** pour répondre à la demande, engendrant une **hausse des émissions de GES**.

Dans ces conditions, et **conformément au Pacte Electrique Breton**, **il ne peut être recommandé de recourir aux pompes à chaleur en dispositifs de production d'énergie thermique principaux en région Bretagne**. Il apparaît par exemple plus pertinent d'orienter les porteurs de projets vers les solutions de chauffage et de production d'ECS faisant appel à la **filière bois énergie, ressource locale renouvelable**, dont le gisement est important et dont la distribution se structure.

F. Synthèse des scénarios

Les résultats des approches énergétiques, économiques et environnementales, en lien avec le contexte régional, sont synthétisés dans le tableau suivant. On s'appuiera sur le code couleur suivant pour apprécier pertinence de la solution :

Réponse favorable
Réponse mitigée, partiellement adaptée
Réponse défavorable

	Faible consommation en énergie primaire	Faible consommation en énergie finale	Impact sur l'effet de serre	Taux d'utilisation d'EnR	Compatibilité avec la dépendance énergétique de la Bretagne
SC1 Hybride (Gaz + PAC)					
SC2 PAC Air-Eau					
SC3 Bois plaquette					
SC4 PAC sur sondes géothermiques					

Aucune source d'énergie renouvelable ne permet à elle-seule de **couvrir la consommation d'énergie totale** des bâtiments. Le scénario SC3 faisant appel à la **filère bois** et le scénario de référence SC1 faisant appel au **gaz en appoint de pompe à chaleur** s'avèrent les **plus adaptés**, notamment au regard du contexte énergétique local, mais ne se détachent pas particulièrement des autres.

Phase 6 : pistes de mesures compensatoires

A. Note sur les unités de mesures

L'arrêté du 15 Septembre 2006 définit les **ratios de conversion de l'énergie consommée en émission de GES**. Ces dernières s'expriment en kilogramme équivalent de dioxyde de carbone émis (kg eq CO₂).

L'équivalent de CO₂ permet de **comparer l'impact des différents GES**. En effet, on peut évaluer pour chaque gaz le **Pouvoir de Réchauffement Global (PRG)** en le comparant à celui du CO₂ (PRG = 1) sur un siècle. Pour exemple, le méthane a un PRG = 23 signifiant qu'un kg de méthane produira un réchauffement de l'atmosphère équivalent à 23 kg de CO₂.

Tableau de conversion issu de l'arrêté du 15 Septembre 2006
1 kWh _{EF} = 0,234 kg eq CO ₂ pour le gaz
1 kWh _{EF} = 0,084 kg eq CO ₂ pour l'électricité
1 kWh _{EF} = 0,300 kg eq CO ₂ pour le fioul
1 kWh _{EF} = 0,013 kg eq CO ₂ pour le bois

A noter qu'un ratio de 0,084 kg eq CO₂ pour l'**électricité** par kWh électrique est faible du fait de la **grande part de l'énergie nucléaire, décarbonée**, dans le mix énergétique français en comparaison d'autres pays utilisant massivement les énergies fossiles (Allemagne par exemple).

B. Emissions de CO₂ des différentes solutions énergétiques

Dans le cadre du présent projet d'aménagement, les sources des émissions de GES sont multiples et à considérer tout au long du cycle de vie du projet, comme vu précédemment :

- Consommations d'énergies non renouvelables associées à l'**aménagement du site**, à la **construction des bâtiments** et à leur **déconstruction** à terme ;
- Consommations d'énergies non renouvelables associées au **chauffage** des locaux, ainsi qu'à la **production d'ECS** ;
- Consommations d'énergies non renouvelables associées à l'**électro-ménager** ;
- Consommations d'énergies non renouvelables associées aux **transports en véhicules motorisés** ;
- Consommations d'énergies non renouvelables associées aux **espaces communs** (éclairage essentiellement).

1. Aménagement et construction

o Voiries

Les solutions techniques mises en œuvre pour les **matériaux de voirie** font généralement appel à des **liants hydrauliques** (à base de ciment) ou **hydrocarbonés** (issus du pétrole). Il apparaît ainsi **difficile d'envisager l'énergie grise** de ces matériaux.

Les pistes de réflexions pour permettre de **réduire l'énergie grise** liée aux matériaux de voiries s'appuie :

- Sur la **réduction des surfaces** de voiries : réduction des emprises et du linéaire au profit de cheminements piétons moins exigeants en termes de matériaux (profondeur, densité) ;

- Sur le choix de **traitement en place** permettant au sol existant des caractéristiques de voiries classiques, via l'adjonction de chaux et de ciment, suivie d'un compactage et d'un nivelage. Cette solution permet d'**éviter le terrassement et l'apport de matériaux** de carrières par camions, réduisant le recours aux engins de chantiers et de ce fait l'émission de GES liée à la consommation de carburant. L'opportunité de la mise en œuvre d'une telle solution doit être définie par une **étude de sol**. Les sols limoneux et argileux y sont particulièrement favorables.

- o **Bâti :**

L'**énergie grise**, comme vu en première partie, est **très variable suivant les matériaux** ayant un même usage dans la construction. En prenant pour exemple l'isolation, l'énergie grise peut varier de 30 kWh/m³ pour la fibre de lin à 1 200 kWh/m³ pour la mousse polyuréthane, soit un facteur de 40 ! Dans un contexte d'augmentation des performances énergétiques du bâti, l'énergie grise va constituer **une part de plus en plus significative** de l'ensemble de l'énergie utilisée tout au long de la vie du bâtiment. Ainsi, l'énergie grise utilisée pour la construction d'une **maison passive** peut-elle être estimée à l'**équivalent de 60 ans de chauffage du logement**. Dès lors, il importera à l'avenir de réduire l'énergie grise des bâtiments pour réduire d'avantage l'impact énergétique du bâti.

Les **aménagements projetés** sur site ne sont **pas précisément connus** au stade actuel de l'étude. Le choix des constructions et des modes constructifs sera fortement dépendant des **choix des porteurs de projets** en fonction des **contraintes des activités**. De ce fait, l'**énergie grise** du bâti et les émissions de GES associées apparaissent **très difficiles à cerner**. Toutefois, il importe de **sensibiliser** les porteurs de projets à cette problématique pour **réduire l'impact énergétique** global du projet.

Selon la volonté du maître d'ouvrage, les **matériaux de construction** à faible énergie grise ou biosourcés peuvent être privilégiés au travers de **prescriptions particulières** dans le cahier des prescriptions architecturales, paysagères et environnementales du projet et au travers du règlement.

La **provenance** des matériaux peut également être un critère, en privilégiant le recours à des **matériaux locaux**. Ceci contribue à **favoriser l'économie locale**, d'**éviter la déforestation** des forêts primaires et de **réduire les émissions de GES** liées aux transports.

Lots de construction	Propositions de matériaux biosourcés
Gros œuvre	Ossature bois Maçonnerie à faible énergie grise : terre crue, paille
Bois de charpente	Bois européen
Couverture	Ardoises naturelles produites en France
Menuiseries extérieures	Bois Mixte bois / aluminium
Isolation	Fibre de bois Fibres de chanvre Liège Ouate de cellulose Fibres textiles recyclées
Revêtement de sol	Caoutchouc Linoléum naturel Terre cuite

Le recours aux matériaux biosourcés va dans le sens de la **qualité de l'air intérieur**. Toutefois, des prescriptions doivent être également édictées quant au **seuil d'émissions de COV** par les colles, solvants et peintures.

Dans le cadre d'un **projet d'aménagement** conduisant à l'implantation de bâtiments d'activités, de nombreux corps de métiers se trouvent mobilisés. Il apparaît intéressant de **d'encourager le recours à des matériaux à faible énergie grise et biosourcés**, dont la mise en œuvre limite les risques sur la santé, tant pour les ouvriers que pour les personnes amenées à travailler sur site.

2. Consommation des process industriels

Le projet vise à permettre l'**implantation d'activités** et notamment d'**industries** dont les besoins en énergie relatifs aux **process industriels** sont très variables restent **impossibles à cerner** à ce stade.

3. Consommation des bâtiments

Comme vu en phase II, les consommations énergétiques liées au bâti varient, en **fonction des sources d'énergie considérées** et de la **performance du bâti**, de 938 MWhef/an (géothermie) à 1 129 MWhef/an à l'échelle du projet (solution hybride au gaz).

Dès lors, les émissions de GES peuvent être assimilées à 71 T eq CO₂ à 107 T eq CO₂ à l'échelle du projet en fonction des énergies considérées comme vu en phase 5.

4. Consommation des espaces publics

Les **émissions de CO₂** associées à l'éclairage des espaces publics seraient de **0,16 t/an** dans le cas de la mise en œuvre de **systèmes d'éclairage traditionnels**, et de **0,16 t/an** pour des **systèmes LED**, en s'appuyant sur les données établies en phase 1.

5. Transports

L'évaluation de l'**impact des transports** en termes d'**émissions polluantes** liées aux véhicules motorisés s'appuie sur plusieurs facteurs :

- Le **nombre de véhicules** attendus sur site ;
- La **distance moyenne** des trajets quotidiens ;
- L'évaluation des **émissions polluantes** en fonction de l'**âge de véhicules** et de leur **source d'énergie** (essence ou diesel). Les hypothèses relatives aux émissions polluantes sont détaillées en annexe en s'appuyant sur les caractéristiques du parc automobile en Bretagne en 2018 et les normes EURO (voir annexe).

Dans le cas présent, les **émissions liées aux transports** vont dépendre du **nombre de personnes amenées à travailler sur site**, de leur **lieu de résidence**, du **volume de fret**, de l'origine des **matières premières**, de la **destination des produits**... autant de paramètres **impossibles à cerner** à ce stade de l'étude. Nous ne pouvons que donner une **approche générale** de la problématique sans pouvoir aboutir à des chiffres fiables.

6. Synthèse des émissions de CO₂ à l'échelle du projet

Le tableau suivant établit une synthèse des consommations en énergie liées à l'habitat et aux déplacements à l'échelle du projet.

Poste	Estimation des émissions annuelles de CO ₂ à l'échelle du projet	
	Hypothèse basse	Hypothèse haute
Energie grise liée à l'aménagement	Inconnue à ce stade	Inconnue à ce stade
Consommation liée aux process industriels	Impossible à cerner à ce stade	Impossible à cerner à ce stade
Consommation du bâti	71 T eq CO ₂	107 T eq CO ₂
Consommation des espaces publics	0,16 T eq CO ₂	0,27 T eq CO ₂
Transports	Impossible à cerner à ce stade	Impossible à cerner à ce stade
Total	71 T eq CO₂	107 T eq CO₂

Illustration n°46 : Synthèse des émissions annuelles estimées à l'échelle de l'ensemble de l'opération

C. Principe de compensation carbone

Si favoriser l'emploi d'énergies renouvelables au détriment des énergies fossiles contribue à réduire les émissions de GES, il convient avant tout de **réduire au maximum** les besoins énergie pour réduire l'impact sur l'effet de serre.

Selon une approche complémentaire, on peut par ailleurs chercher à « **compenser** » les émissions de GES en recherchant à mettre en œuvre des mécanismes permettant directement ou indirectement d'absorber des GES (« **puits de carbone** »). Ces outils peuvent aussi bien être :

- Des outils de compensation par **mécanisme financier** : les porteurs de projets peuvent décider de financer un programme de compensation ;
- Des outils de compensation par **action locale** : l'acquisition de foncier pour la plantation d'arbres par exemple.

1. Compensation carbone volontaire

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 GES** par une **quantité équivalente** de « **crédits carbone** », en les achetant auprès d'un tiers.

Concrètement, la compensation consiste à **mesurer les émissions de GES** générées par une activité (transport, chauffage, etc.) puis, après avoir cherché à réduire ces émissions, à financer un **projet de réduction des émissions de GES** ou de **séquestration du carbone** : énergie renouvelable, efficacité énergétique ou de reboisement, qui permettra de **réduire**, dans un autre lieu, **un même volume de GES**. 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.

Les porteurs de projet pourront entrer dans ce processus de compensation s'ils le désirent.

2. Compensation carbone par des actions locales

Il est par ailleurs envisageable pour la collectivité et les porteurs de projets d'envisager la mise en œuvre d'**actions locales**, permettant de considérer pleinement le **poids des mesures compensatoires** à mettre en œuvre au niveau local. Concrètement, plusieurs leviers d'actions sont envisageables, aussi bien pour **réduire les émissions de GES** qu'à **capter le CO₂** produit.

D. Proposition de mesures compensatoires à l'échelle du projet

Nous présenterons ici **quelques solutions** de compensation des émissions de GES associés au projet. Ceci permet d'appréhender de manière plus **concrète** ce qu'induisent les consommations énergétiques en termes d'impact écologique mais également financier.

Les points ici abordés constituent des pistes d'**aide à la décision** à destination des porteurs de projet qui souhaitent assumer leur part de responsabilité quant à leur impact sur le climat et être proactifs dans la lutte contre le changement climatique. Il ne s'agit en aucun cas de prescriptions réglementaires.

1. Production locale d'électricité

La **consommation prévisionnelle en électricité** du projet d'aménagement a été estimée précédemment (phase 3). Il s'avère que l'électricité représente une **part importante** des consommations prévisionnelles en énergie finale. De plus, la production d'électricité apparaît très limitée en Bretagne (environ 10% de sa consommation), rendant la **région dépendante des territoires voisins**. Dès lors, il apparaît pertinent de développer les solutions de production d'électricité **solaire photovoltaïque** au niveau local, ce qui permet indirectement de **compenser les émissions de GES** produites par des centrales thermiques sur d'autres territoires.

Comme vu en phase 3, la surface de toiture disponible sur l'ensemble du projet permet d'envisager la mise en œuvre de 12 000 m² de **panneaux solaires photovoltaïques**. La **production d'électricité** peut ainsi être de **1 230 MWh lissée sur une année**.

Production annuelle d'électricité par m² de panneau solaire	103 kWh/m ² de panneaux solaires
Surface de panneaux solaires pouvant être implantés	12 000 m ²
Production annuelle d'électricité envisageable à l'échelle du projet	1 230 MWh
Consommation annuelle du projet en énergie électrique – niveau RE2020	730 MWh
Part de la consommation en énergie électrique spécifique (hors chauffage et ECS) pouvant être assurée par panneaux solaires photovoltaïques – niveau RE2020	169%

Illustration n°47 : Part de la consommation d'électricité spécifique pouvant être produite par panneaux solaires photovoltaïques à l'échelle du projet

Ainsi, la mise en œuvre de **panneaux solaires photovoltaïques** sur l'**ensemble des surfaces de toitures mobilisables** permettrait de **produire la totalité de l'électricité consommée** par les usages spécifiques de bâtiments (hors process industriels) et d'envisager la **revente du surplus** de production. Cette couverture des besoins sera assurément plus faible pour les scénarios prévoyant le chauffage et la production d'ECS par des dispositifs électriques (PAC).

Dès lors, il peut apparaître pertinent de développer en complément la mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques sur d'autres supports (**ombrières** sur places de stationnement). Toutefois, il importe de bien étudier la **faisabilité technico-économique** de telles solutions pour garantir leur efficacité à long terme.

2. Plantation de biomasse

La **biomasse** est un **capteur de carbone** par excellence dans le cycle du carbone : les plantes, par les processus de **photosynthèse** en journée, captent du CO₂ pour assurer leur croissance. Ainsi, la plantation de biomasse constitue-t-elle un moyen de stocker du carbone.

Sur la base de ce principe se sont créées de nombreuses sociétés de compensation carbone. Toutefois, de nombreuses questions restent en suspens quant au réel impact de ces solutions sur l'effet de serre. En effet, de **nombreux paramètres sont à prendre en compte** pour estimer l'**efficacité** des mesures : la **vitesse de croissance** ces arbres, et par conséquent leur aptitude à stocker du carbone, est fortement dépendant de leur **essence**, de leur **environnement** (exposition, nature des sols), du **climat**, de la **latitude**.

Au-delà du seul aspect de compensation carbone, il importe par ailleurs de pousser la réflexion sur l'**occupation actuelle du sol** sur le site dédié à la replantation ainsi que **la faune et la flore présentes**, le cortège des **essences** amenées à être plantées, leur impact sur l'hydrologie, la localisation du site au regard de la **trame verte et bleue**, le **suivi projeté** de l'évolution du site et les potentielles méthodes d'**exploitation** en vue de créer un **écosystème riche et fonctionnel**.

S'y adjoignent des **considérations socio-économiques** fonction du contexte. Il importe ainsi de ne pas réduire la surface agricole utile au risque de **déstabiliser les petits exploitants** et, à une plus large échelle, de créer des **pénuries en alimentation**, notamment dans les pays en voie de développement.

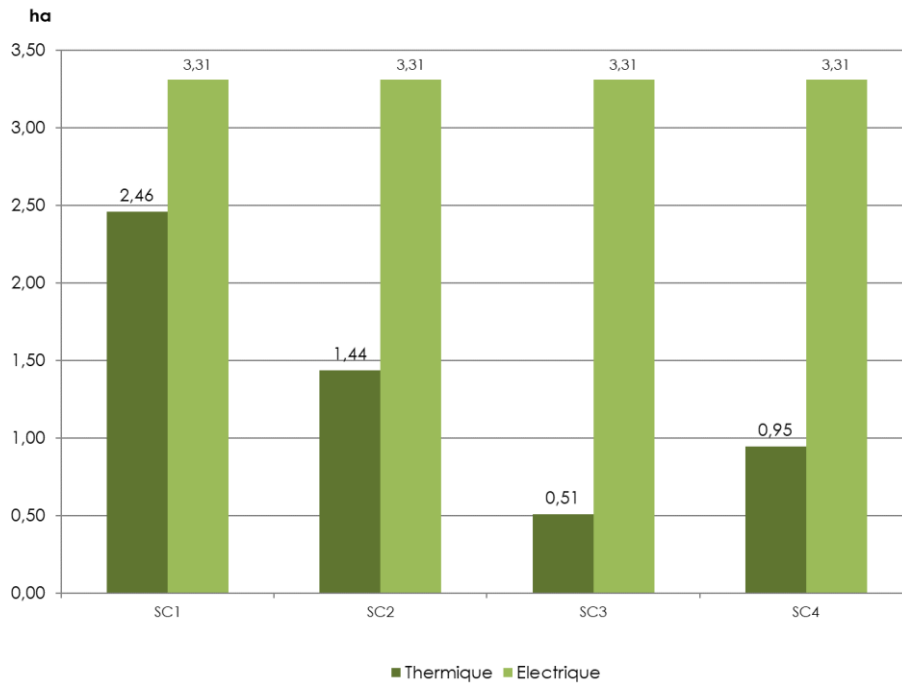
Dans le cas présent, nous étudions la plantation de biomasse sur un secteur proche du projet, en nous appuyant sur le **projet CARBOFOR** publié en 2004 concernant la séquestration de carbone dans les écosystèmes forestiers en France.

Nous considérons, pour 1 ha de forêt à croissance normale sur sa durée de vie, avec un objectif de valorisation en bois d'œuvre et bois énergie, que 1 à 10 tC/ha/an sont stockables, ce qui représente 3,6 à 36 tCO₂/ha/an.

Dans la présente approche, nous retiendrons comme moyenne une **capacité de stockage** des boisements de 5 tC/ha/an, soit, **18,5 tCO₂/ha/an** pour évaluer les emprises nécessaires.

Le tableau suivant présente la surface boisée permettant de compenser les émissions annuelles de CO₂ générées par les bâtiments pour chacun des scénarios envisagés dans le cadre de l'étude.

Surfaces de forêt équivalente à planter localement pour compenser les émissions de CO₂ du bâti en fonction des scénarios et de la performance énergétique



	SC1 Hybride (Gaz + PAC)	SC2 PAC Air-Eau	SC3 Bois granulés	SC4 PAC sur sondes géothermiques
RE2020	2,46	1,44	0,51	0,95
Passif	3,31	3,31	3,31	3,31
Total	5,77	4,75	3,82	4,26

Illustration n°48 : Surfaces de forêt équivalente à planter localement pour compenser les émissions de CO₂ du bâti en fonction des scénarios et de la performance énergétique

Le scénario de référence nécessiterait selon nos hypothèses près de 6 ha de plantation de forêt pour compenser les émissions annuelles de CO₂ générées par le seul bâti du projet. Le recours au bâti passif de manière globale permettrait de réduire cette surface à un peu moins de 4 ha.

A noter que le recours à la filière bois énergie est la solution qui sollicite la moindre compensation.

Synthèse des avantages et contraintes des énergies renouvelables étudiées

Préconisations	Avantages	Contraintes	Impact environnemental
Solaire passif	Faible coût (implantation et conception du bâtiment).	Favoriser une orientation Nord-Sud. Prendre en compte les ombres portées du bâti et des éléments du paysage (arbres).	Impact environnemental le plus faible : principes simples et rustiques, durabilité optimale. Bilan comptable NEGATIF, dans le sens où le bénéfice des apports solaires réduit les besoins en chauffage/climatisation et les émissions de GES associées.
Solaire thermique	Permet une réduction efficace des énergies fossiles pour les besoins thermiques.	Investissement parfois élevé. Etude spécifique à réaliser pour optimiser le dimensionnement.	Impact environnemental très faible, peu énergivore, composants à l'impact modéré, durée de vie importante, proche de la durée de vie du bâti. Bilan comptable NEGATIF, dans le sens où le bénéfice des apports solaires réduit les besoins en énergie pour l'ECS et les émissions de GES associées.
Solaire photovoltaïque	Production d'énergie verte locale. Rentabilisation de l'investissement par le rachat possible de l'énergie produite.	Investissement important. Bien favoriser la performance énergétique du bâti en priorité (meilleure rapport coût/bénéfice)	Bilan comptable NEGATIF, dans le sens où l'énergie verte produite réduit les besoins en électricité conventionnelle et les émissions de GES associées.
Récupération de chaleur fatale	Optimisation des consommations d'énergies liées aux process industriels	Opportunité liée aux process industriels	Bilan comptable NEGATIF, dans le sens où la récupération d'énergie réduit les besoins en énergie pour l'ECS et les émissions de GES associées.
Chaufferie bois collective	Fonctionnement et gestion mutualisés. Stabilité du prix du bois. Recours à une ressource locale.	Surface nécessaire pour l'implantation de la chaufferie et le stockage du bois. Frais de maintenance plus élevés que pour le gaz. Approvisionnement régulier à assurer.	Bilan comptable NEUTRE, dans le sens où le bois consommé est replanté dans le cadre de boisements gérés durablement, assurant ainsi un équilibre en CO ₂ dégagé et CO ₂ capté.
Réseau de chaleur bois	Production de la quasi-totalité des besoins en chauffage et ECS des bâtiments à partir d'énergies renouvelables. Stabilité du prix du bois. Recours à une ressource locale.	Investissement conséquent. Rentabilité à vérifier par une étude approfondie. Organisation juridique pour la revente de la chaleur et la répartition des coûts.	Bilan comptable NEUTRE, dans le sens où le bois consommé est replanté dans le cadre de boisements gérés durablement, assurant ainsi un équilibre en CO ₂ dégagé et CO ₂ capté.
PAC géothermie	Récupération d'énergie dans le sol.	Investissement conséquent.	Bilan comptable NEGATIF, dans le sens où la quantité d'énergie extraite est supérieure à celle consommée.

Préconisations	Avantages	Contraintes	Impact environnemental
			Fuites de fluides frigorigènes très impactantes sur l'effet de serre. Baisse du rendement à très faibles températures, engendrant des besoins accrus en électricité lorsque le réseau est le plus sollicité.
PAC air/eau	Extraction de l'énergie de l'atmosphère.	Baisse du rendement à très faibles températures.	Bilan comptable NEGATIF, dans le sens où la quantité d'énergie extraite est supérieure à celle consommée. Fuites de fluides frigorigènes très impactantes sur l'effet de serre. Baisse du rendement à très faibles températures, engendrant des besoins accrus en électricité lorsque le réseau est le plus sollicité.
Micro-éolien	Production d'électricité verte.	Investissement important. Productivité dépendante du vent, disponibilité limitée notamment en milieu urbain. Impact paysager. Possibles incidences sonores.	Bilan comptable NEGATIF, dans le sens où l'énergie verte produite réduit les besoins en électricité conventionnelle et les émissions de GES associées.

Synthèse et conclusions

Ce rapport vise à estimer le potentiel de développement des énergies renouvelables à l'échelle du projet d'extension de parc d'activité « BOIS VERT 3 » visant à permettre l'implantation de nouvelles entreprises industrielles, artisanales et tertiaires sur la commune de Ploërmel.

Cette étude se décompose en plusieurs phases :

- La première vise à identifier les **énergies renouvelables potentiellement mobilisables** sur site ;
- La deuxième vise à estimer les **besoins en énergie finale** à l'échelle de l'opération, notamment par rapport au bâti.
- La troisième vise à définir **quelles énergies renouvelables sont mobilisables** sur le site du projet.
- La quatrième vise à estimer le **taux de couverture des besoins** du projet par les EnR et à étudier l'**opportunité** de réaliser un **réseau de chaleur** sur le site de l'opération.
- La cinquième conduit à estimer l'**impact** énergétique, financier et environnemental de différents **scénarios d'approvisionnement** en énergie faisant intervenir les énergies fossiles et électriques, ainsi que les EnR.

Le tableau suivant établit une synthèse des taux de couverture atteignables par les EnR en fonction des différentes solutions de production mises en œuvre à l'échelle du projet, sur la base des consommations associées au niveau de performance RE2020.

EnR	Taux de couverture par les EnR RE2020		Taux de couverture par les EnR Passif	
	Chaleur	Electricité	Chaleur	Electricité
Solaire thermique	576%	0%	741%	0%
Solaire photovoltaïque	0%	169%	0%	169%
Chaufferie bois granulés	100%	0%	100%	0%
Chaufferie bois plaquette	80%	0%	80%	0%
PAC géothermie	71%	0%	71%	0%
PAC aérothermie	63%	0%	63%	0%
Micro éolien	0%	55%	0%	55%

Illustration n°49 : Taux de couvertures des besoins énergétiques par les EnR mobilisables à l'échelle du projet

Il ressort de cette étude qu'**aucune source d'énergie renouvelable** ne permet à elle seule de **couvrir l'ensemble des besoins** thermiques et électriques du projet. Il convient ainsi de s'orienter vers la mise en œuvre de différentes solutions de production d'EnR thermiques et électriques complémentaires.

Les tableaux suivants synthétisent les **avantages et contraintes** des différents **scénarios d'approvisionnement** en énergie mis en œuvre pour le bâti.

	Faible consommation en énergie primaire	Faible consommation en énergie finale	Impact sur l'effet de serre	Taux d'utilisation d'EnR	Compatibilité avec la dépendance énergétique de la Bretagne
SC1 Hybride (Gaz + PAC)					
SC2 PAC Air-Eau					
SC3 Bois plaquette					
SC4 PAC sur sondes géothermiques					

Le scénario SC3 faisant appel à la **filière bois** et le scénario de référence SC1 faisant appel au **gaz en appoint de pompe à chaleur** s'avèrent les **plus adaptés**, notamment au regard du contexte énergétique local, mais ne se détachent pas particulièrement des autres.

A noter que la **part des transports motorisés** reste impossible à cerner à ce stade mais demeurera **très majoritaire** à l'échelle de l'opération pour l'ensemble des **émissions de GES**. De même, les consommations d'énergies liées aux process industriels restent impossible à approcher à ce stade car elles restent fortement dépendantes de la nature des activités amenées à s'implanter sur site.

Les **principales orientations** visant à réduire les consommations d'énergie à l'échelle du projet peuvent être listées ainsi :

- La réalisation de **bâtiments économes en énergie**, suivant une **conception bioclimatique**.
- La mise en œuvre de **dispositifs de production d'énergies renouvelables adaptés aux besoins** (solaire, bois énergie).
- La **récupération de la chaleur fatale** des éventuels process industriels.
- Faciliter les **modes de déplacements doux** et les **transports en communs** en vue de réduire le recours aux véhicules individuels, très consommateurs en énergies et générant de très grandes quantités de GES. Ceci passe par une implantation judicieuse des **arrêts de bus**, le **renforcement de la fréquence de desserte aux heures de pointe**, la **priorisation sécurisée des piétons et des cycles** sur l'espace public, le **raccordement au maillage de déplacements doux** à l'échelle de l'agglomération.
- Mettre en œuvre des **éclairages LED** sur les **espaces publics**, en étudiant précisément la puissance et période d'éclairage.

Annexe 1 : fiches techniques sur les énergies renouvelables

Energie solaire – solaire passif

Principes

L'**énergie solaire** étant une **énergie inépuisable** à l'échelle planétaire, abondante, gratuite et renouvelable. Il apparaît ainsi des plus judicieux de tirer au mieux parti du soleil pour **réduire les besoins énergétiques** du bâti.

L'**optimisation des apports solaires** nécessite tout d'abord de comprendre la trajectoire du soleil à travers le ciel au fil des saisons. Ainsi :

- En **hiver**, le soleil définit une **trajectoire courte et basse** sur l'horizon, il se lève au Sud-Est pour se coucher au Sud-Ouest ;
- A la **mi-saison**, sa trajectoire apparaît **plus haute** dans le ciel et **plus longue**, il se lève à l'Est et se couche à l'Ouest ;
- En **été**, le suit une trajectoire **très longue et très haute** à travers le ciel, le soleil se lève au Nord-Est pour se coucher au Nord-Ouest

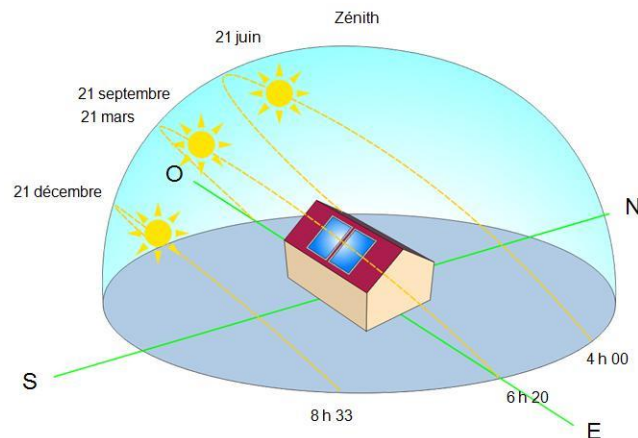


Illustration n°50 : Trajectoire du soleil suivant la saison (source : lepanneausolaire.net)

Dès lors, les apports solaires variant au fil des saisons, il apparaît ainsi primordial de concevoir le bâti pour **tirer parti au maximum des apports en hiver** et à mi-saison et de réduire ces apports en été pour **parer aux surchauffes estivales**. Ceci permet de réduire les besoins en chauffage l'hiver et en climatisation l'été.

Préconisations

La **conception bioclimatique** permet d'**optimiser les apports** énergétiques au fil des saisons en tirant parti de l'**énergie solaire passive** :

- Tirer parti du **relief** pour éviter les **effets de masques** en hiver.
- Assurer un **recul suffisant** entre bâtiments au Sud, pour garantir des apports même lorsque le soleil sera bas sur l'horizon et les apports réduits tant dans le temps que dans l'intensité (solstice d'hiver).
- Tenir compte des **éléments extérieurs** (arbres, haies) pour limiter les apports solaires en été tout en les maximisant en hiver. Un **arbre feuillu** peut ainsi laisser passer les rayons du soleil en hiver, lorsqu'il est nu, et jouer le rôle d'**ombrière** en été lorsque son feuillage est dense.
- Viser une **orientation des façades et ouvertures au Sud** (+/- 20°), pour profiter au maximum du soleil en journée.

- Disposer les **pièces de vie au Sud**, permettant de maximiser les apports dans les pièces les plus utilisées.
- Disposer les **pièces fonctionnelles et sanitaires**, où le temps d'occupation est limité, **au Nord**.
- Penser la **forme urbaine** pour optimiser la performance énergétique :
 - o Privilégier la **densité des logements**, les maisons groupées avec 2 parois mitoyennes limitant les déperditions énergétiques ;
 - o Privilégier les **formes architecturales compactes**, notamment pour les petits collectifs, en vue de limiter les déperditions énergétiques ;
 - o Privilégier les **logements traversants**, permettant de mieux organiser pièces de vie et pièces fonctionnelles en fonction des besoins en apports solaires et autorisant une **ventilation nocturne** en été pour limiter les surchauffes.
- Mise en œuvre de **protections solaires adaptées** (volets, casquettes) limitant l'intrusion du soleil dans le bâti en été et permettant ainsi de limiter le risque de surchauffe.

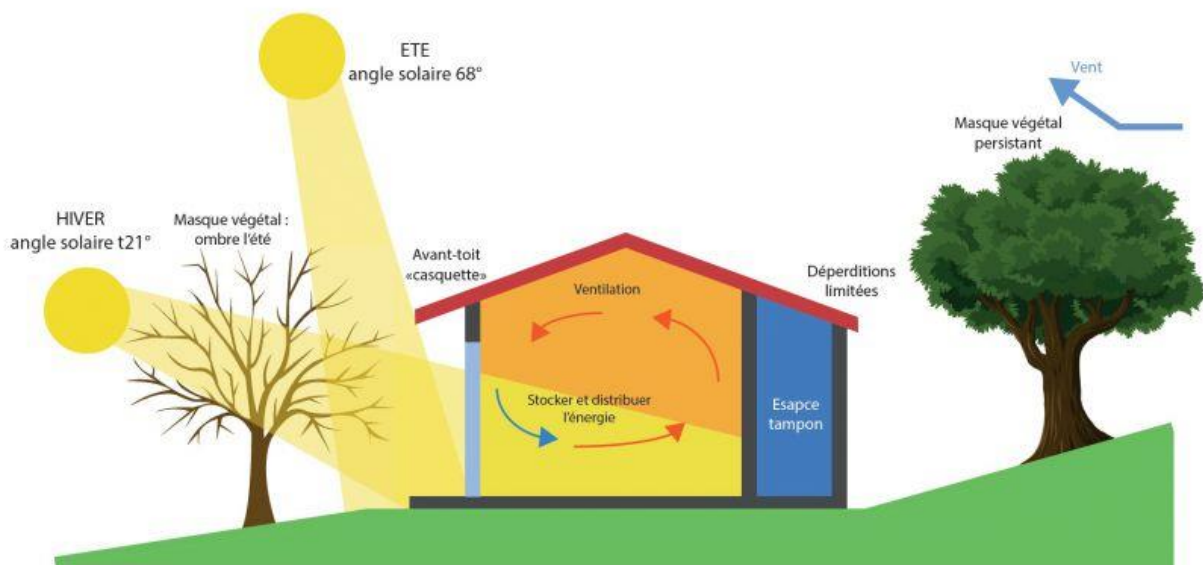


Illustration n°51 : La conception bioclimatique (source : inex.fr)

L'optimisation des apports solaires permet par ailleurs d'assurer un meilleur **confort thermique** dans la maison (couplé au choix des bons matériaux et modes de construction). La conception bioclimatique peut en outre permettre d'optimiser la **disposition des éventuels capteurs solaires** actifs (photovoltaïques, thermiques) pour optimiser leur rendement.

Contexte actuel et impact environnemental

L'optimisation des apports solaires passifs, et la conception bioclimatique en général, ont toujours guidé la conception du bâti à travers le monde. Toutefois, à la **fin de la seconde Guerre Mondiale**, les importants besoins en logements couplés aux bas prix des énergies fossiles ont incité à **délaissé cette problématique**. Depuis les années 1970, les crises pétrolières successives, l'**augmentation du coût de l'énergie** et l'émergence des **consciences écologiques** ont de nouveau placé cette problématique au cœur de la conception des projets.

Coût

L'optimisation des solaires passifs, et la conception bioclimatique en général, apparaissent les **leviers les plus efficaces pour réduire les besoins en énergie** pour le chauffage et la climatisation, mais également pour l'optimisation des apports solaires actifs (photovoltaïques et thermiques). En effet, cette conception n'engendre **pas de surcoût particulier** dès lors que le concepteur du bâtiment est sensibilisé et formé à ces problématiques.

Ces principes doivent toutefois être **pris en compte en amont**, dès le choix du site du projet d'aménagement, afin de concevoir un bâtiment **tirant au mieux parti des atouts et contraintes** du site tout en étant **adapté aux usages**.

Avantages / inconvénients

Avantages :

Pas de coût particulier.
Lever le plus efficace pour réduire les besoins en énergie de chauffage et de climatisation.
Favorise le confort thermique.
Favorise un meilleur rendement des apports solaires actifs.

Inconvénients :

Prise en compte en amont de la conception du bâti nécessaire, dès le choix du site.
Contraint les possibilités d'aménagement.

Energie solaire – solaire thermique

Principes

L'**énergie solaire** étant une énergie inépuisable à l'échelle planétaire, abondante, gratuite et renouvelable. Il apparaît ainsi des plus judicieux de tirer au mieux parti du soleil pour réduire les apports extérieurs du bâti, principalement en **Eau Chaude Sanitaire (ECS)** mais également en **chauffage**.

L'énergie solaire permet **simplement et efficacement** la production d'**eau chaude à basse température**, telle que nécessaire pour les usages quotidiens (douche, vaisselle) mais également pour le chauffage. Cette production d'énergie peut aussi bien être assurée par **rayonnement direct** que **diffus** (représentant plus de la moitié du rayonnement solaire annuel en Bretagne) lorsque le ciel est nuageux. On considère qu'un **chauffe-eau solaire** permet de couvrir **40% des besoins en ECS** d'un logement.

Le schéma suivant présente de manière simplifiée le fonctionnement d'une installation de production d'eau chaude solaire thermique :

- Un ou plusieurs **capteurs solaires** (3 à 5 m² typiquement) permettent le cheminement d'un fluide caloporteur qui emmagasine l'énergie solaire incidente via l'**absorbeur** ;
- Le **fluide caloporteur** (eau et glycol généralement) chauffé par le soleil circule au travers d'un **échangeur**, permettant le **transfert de la chaleur** à l'**eau chaude sanitaire stockée** dans un **ballon** puis distribuée dans le bâtiment en fonction des usages ;
- Une source d'**énergie d'appoint** (chaudière, résistance), permettant de compléter les besoins en chaleur lorsque la demande est supérieure à l'énergie solaire reçue et stockée.

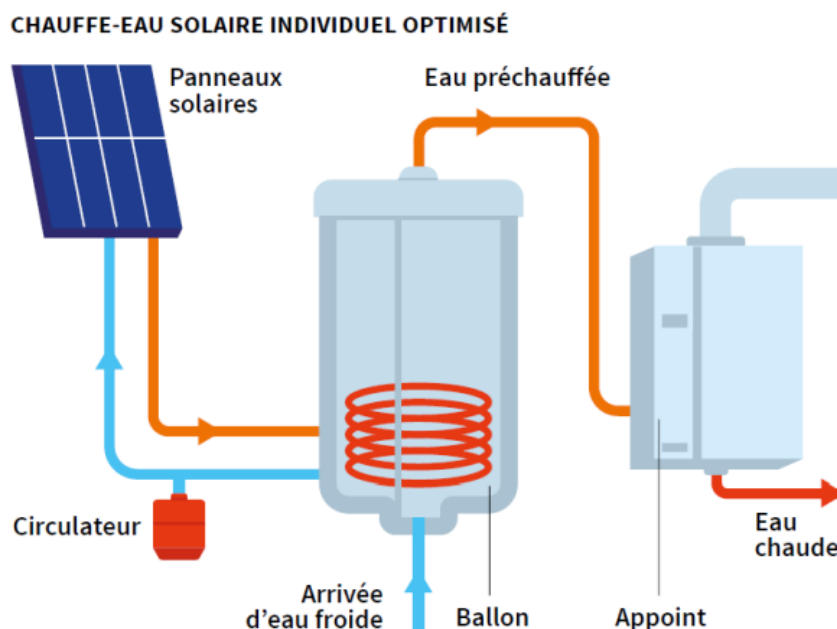


Illustration n°52 : Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire individuel (source : ADEME)

Le principe de **chauffage solaire thermique** utilise les mêmes équipements, mais la **surface de capteurs** est plus importante et le fluide caloporteur est amené à circuler dans l'installation de chauffage (radiateurs à eau) ou dans les **planchers chauffants** (serpentin). Un appoint (chaudière) demeure toujours nécessaire.

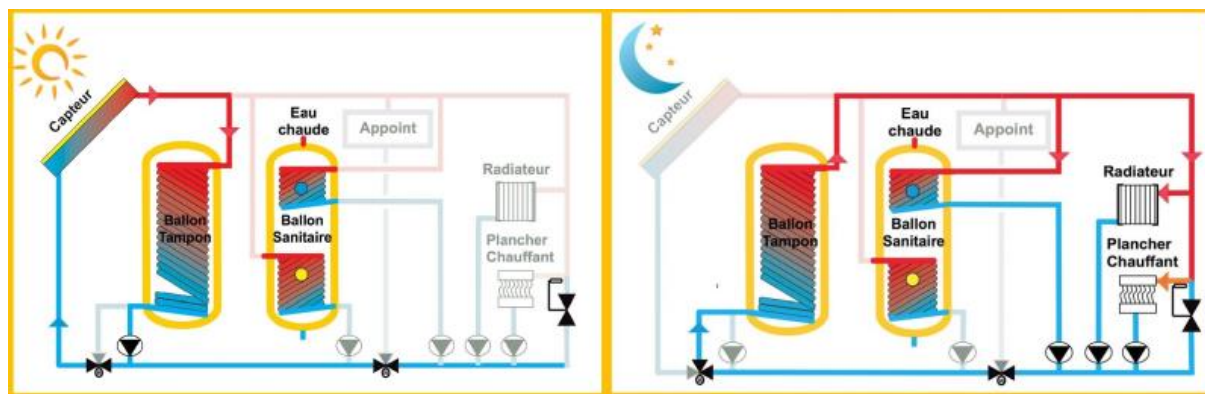


Illustration n°53 : Principe de fonctionnement d'un chauffage solaire (source : Solisart)

Préconisations

Une installation de **production d'ECS solaire thermique** autorise un **rendement important** (restitution de 40 à 60% du rayonnement solaire incident sous forme de chaleur) permettant de couvrir les besoins en eau chaude d'une famille pour **une surface et un coût limité**. Toutefois, il convient de vérifier la **bonne orientation des capteurs** et de **limiter les ombres portées** (bâti, arbres, cheminées) pour optimiser le rendement et donc la rentabilité d'une telle installation.

Contexte actuel et impact environnemental

La production d'énergie solaire thermique est une technique **rustique, mature, maîtrisée** et **bien diffusée**. L'espérance de vie d'une installation est d'environ 20 à 30 ans. Une bonne implantation permet de **réduire les besoins en énergie fossile** (gaz, fioul) et/ou électrique pour la production d'ECS d'environ 40%, ce qui représente **8% à 9% des consommations en énergie finale d'une habitation** de type RE2020 ou passive.

Le recours à l'énergie solaire permet de **mobiliser des énergies renouvelables** de manière **simple et efficace**, dans un contexte d'augmentation des coûts des énergies fossiles et de leurs incidences tant climatiques que géopolitiques, ainsi que de dépendance énergétique du territoire breton comme du territoire national.

A noter que les panneaux solaires thermiques sont des dispositifs ne faisant **pas appel à des technologies particulièrement polluantes** pour leur production (extraction de métaux ou terres rares, consommation énergétiques excessives) et ne présentent pas de problème particulier de recyclage (**80 à 100% des éléments sont recyclables**).

Coût

Cette solution de production d'énergie permet un **stockage temporaire** de l'énergie, avec une plage d'amplitude horaire faible (à la journée), et une **utilisation locale**. Dès lors, pour être rentables, ces systèmes sont à favoriser sur les **résidences occupées toute l'année** ayant de **forts besoins en ECS** (résidences principales de familles ou encore EHPAD). Toutefois, ceci ne sera pas forcément pertinent sur des locaux du secteur tertiaire.

Le coût d'une installation de **production d'ECS solaire thermique** est d'environ **900 à 1 700 € HT/m² de capteurs posés selon l'ADEME**. Il se répartit essentiellement entre :

- Les capteurs : compter 1 à 1,5 m² par occupant pour l'ECS.

- Le ballon d'eau chaude : environ 300 L.

Le **chauffage solaire thermique** nécessite des surfaces de capteurs plus importantes. Il faut ainsi compter :

- 1 m² de capteurs pour 10 m² de surface habitable dans un logement RT2012 ;
- 0,7 m² de capteur pour 10 m² de surface habitable dans la rénovation.

Dès lors, les coûts sont bien supérieurs : il faut ainsi compter environ **15 000 € HT** posé pour une **habitation d'environ 120 m²**.

A noter que la mise en œuvre de tels dispositifs dans le cadre de **rénovation** peut induire des **coûts annexes conséquents** pour adapter la toiture, permettre le passage des réseaux (fluides et électriques) et l'installation des équipements (ballons).

Enfin, l'Etat octroie un **crédit d'impôt** de 50% pour l'installation de panneaux solaires thermiques, avec un plafond de 16 000 € pour un couple si l'installation a été réalisée par un professionnel RGE (Reconnu Garant de l'Environnement) certifié Qualisol. Un éco prêt à taux zéro est possible sur des résidences principales de plus de 2 ans.

Démarches

La pose de panneaux solaires thermiques sur un bâtiment existant nécessite une **déclaration d'urbanisme**.

Avantages / inconvénients

Avantages :

Technique mature, rustique, bon rendement (60%)
Bonne durée de vie (20 à 30 ans) si dimensionnement optimisé
Entretien limité
Investissement mesuré pour la production d'ECS, rentabilisation rapide
Subventions
Capteurs recyclables

Inconvénients :

Intervention sur la toiture nécessitant une attention particulière sur l'étanchéité en rénovation
Etudier finement le dimensionnement en fonction des besoins pour éviter les surchauffes
Eventuels surcoûts d'installation en rénovation
Efficacité intimement liée à la bonne exposition
Investissement plus important pour un système de chauffage

Energie solaire – solaire photovoltaïque

Principes

L'**énergie solaire** étant une énergie inépuisable à l'échelle planétaire, abondante, gratuite et renouvelable. Il apparaît ainsi des plus judicieux de tirer au mieux parti du soleil pour **produire de l'électricité** et réduire les besoins en apports extérieurs.

Les **panneaux solaires photovoltaïques** permettent la génération d'électricité à partir du rayonnement solaire incident : les **photons** stimulent des **semi-conducteurs en silicium**, lesquels libèrent des **électrons** qui en circulant **gènèrent un courant électrique continu**, lequel se trouve transformé par un **onduleur** en **courant alternatif 230 V** compatible avec le circuit électrique domestique et le réseau de distribution d'électricité.

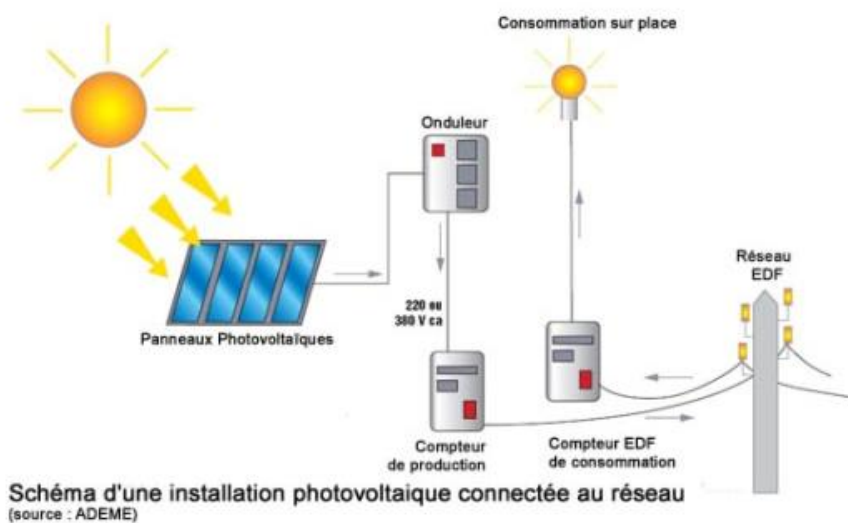


Illustration n°54 : Schéma d'une installation photovoltaïque reliée au réseau (source : ADEME)

Différents types de panneaux photovoltaïques existent. Ils se distinguent par leur possibilité de mise en œuvre, leur rendement et leur coût. Les principales technologies utilisées sont :

- Les **panneaux à « couches minces »** en **silicium amorphe** : ces systèmes sont les plus anciens, les plus rustiques et les plus abordables, leur rendement est limité (6 à 9%) mais peu sensible à l'orientation. Dès lors, de grandes surfaces de tels panneaux sont utiles pour couvrir les besoins en électricité d'une habitation. Ce type de système peut être mis en place en complément de l'étanchéité sur les toitures des bâtiments industriels par exemple.
- Les **panneaux solaires à silicium cristallin** : ces systèmes présentent le **meilleur rapport** entre **rendement et coût**, et se trouvent de ce fait les plus répandus. On distingue :
 - o Les **panneaux solaires monocristallins**, constitués d'un seul cristal en silicium pur d'orientation unique autorisant un rendement d'environ 18%, une plus grande longévité, mais coûteux.
 - o Les **panneaux solaires multicristallins**, constitués de chutes de cristaux fondus prenant des orientations différentes, avec un rendement compris entre 12 et 15% pour un investissement plus limité. Leur empreinte écologique est plus faible.

D'autres technologies plus confidentielles sont utilisées également : celles utilisant le **tellure de cadmium** (CdTe) et les **métaux rares** (cuivre, indium, sélénium, gallium) à la place du silicium.

La **durée de vie** des panneaux solaires est d'environ **25 ans**, quelle que soit la technologie utilisée, avec une **baisse de rendement** d'environ **1%/an**.



Illustration n°55 : Panneau solaire multicristallin
(source : conseils-thermiques.org)

Illustration n°56 : Membrane d'étanchéité sur bâtiment tertiaire (source : TALEV.fr)

Préconisations

Une installation de production d'électricité photovoltaïque présente ainsi un **rendement 2 à 4 fois inférieur** à une installation solaire thermique. Sa pertinence est fortement dépendante :

- De la **conception du bâti** : le rendement des installations à silicium cristallin dépend fortement de l'**orientation** des panneaux, des **effets de masques** projetés par les éléments alentours (arbres, bâtiments, cheminées).
- Du **climat** : le rendement de l'installation sera fortement dépendant du **rayonnement solaire** incident et de la luminosité en général. Ainsi, le rendement sur une année sera plus important et plus régulier sous les tropiques qu'aux pôles.
- Des **usages** : il importe que l'**utilisation** de l'énergie électrique solaire soit **synchronisée** avec sa **production**, ce qui n'est pas forcément le cas pour une habitation permettant une production importante en journée mais dont les besoins électriques sont surtout répartis en début et fin de journée (éclairage, cuisine, multimédia). Le verrou technologique que constitue le stockage de l'énergie électrique à tension élevé constitue un frein majeur à l'essor de cette technologie.
- De la possibilité de **renvoi de l'excédent produit sur le réseau** de distribution d'électricité : la politique énergétique actuelle incite à la revente de la production à EDF avec un tarif avantageux permettant de rentabiliser une installation solaire photovoltaïque plus rapidement. Une inflexion de cette politique pourrait toutefois modifier substantiellement la durée de retour sur investissement.
- Du **coût de l'énergie électrique** distribuée par le réseau : plus la différence entre le prix du kWh distribué par le réseau et le tarif de rachat du kWh produit est faible, plus le temps d'amortissement est long.

D'une manière générale, dans un souci de **rentabilité**, il convient de réfléchir en **priorité** à la **conception bioclimatique** et à la **réduction des consommations électriques** avant d'envisager la production photovoltaïque qui demeure un investissement élevé se rentabilisant sur long terme.

Contexte actuel et impact environnemental

Le recours à l'énergie solaire permet de **mobiliser des énergies renouvelables** de manière **simple et efficace**, dans un contexte d'augmentation des coûts des énergies fossiles et de leurs incidences tant climatiques que géopolitiques, ainsi que de dépendance énergétique du territoire breton comme du territoire national.

Toutefois, l'**opportunité** de la production d'énergie solaire photovoltaïque dépend de **nombreux facteurs**, parmi lesquels le **coût de l'énergie** distribuée et le **tarif de rachat obligatoire** par le réseau. A l'heure actuelle, les **difficultés de stockage de l'électricité à tension élevée** constituent un **verrou technologique** important pour le développement des dispositifs solaires photovoltaïques et contraignent à revendre l'excédent au réseau.

Le développement des **systèmes Blockchain** et **Smartgrids** amorce un virage dans la décentralisation de la gestion des données et de leur transparence. Ceci pousse les **particuliers producteurs d'énergie** à **devenir plus actifs** dans la redistribution de l'électricité, comme c'est le cas pour le Brooklyn Microgrid.

Enfin, l'**impact environnemental** des systèmes solaires photovoltaïques est fortement dépendant du **type de technologies** utilisées.

Les **panneaux solaires cristallins** les plus répandus sont essentiellement conçus à partir de **silicium**, matériau abondant dont le raffinage n'est pas particulièrement polluant pour peu que des précautions soient prises. Les études montrent qu'un tel panneau met **3 à 4 ans** à **restituer l'énergie** nécessaire à sa **production**, ce qui reste mesuré pour une durée de vie de 25 ans. En outre, les filières de **recyclages** des équipements solaires à base de silicium tendent à se structurer et permettent de **revaloriser 95% des matériaux** utilisés.

Toutefois, les technologies utilisant le **tellure de cadmium (CdTe)** et les **métaux rares** (cuivre, indium, sélénium, gallium) à la place du silicium, si elles sont moins répandues, induisent un **impact sur l'environnement significatif** lors de leur extraction, avec des **risques de pollutions** et de **perturbation des écosystèmes** importants.

Les **potentiels impacts environnementaux** des systèmes photovoltaïques à base de **silicium** sont davantage à relier aux **systèmes de stockage** de l'énergie (batteries) souvent couplés à ces dispositifs, qui présentent une durée de vie courte (5 à 10 ans) et induisent des risques de pollutions (**plomb, acides**).

Coût

Le **coût** d'une installation solaire photovoltaïque est essentiellement lié :

- Au **type de technologie** mis en œuvre : le prix d'une installation intégrée est estimé à **3 000 à 4 000 € TTC/kWc posé** ;
- A la **surface totale** de panneaux solaires mis en œuvre, soit de la **puissance totale** de l'installation. Le prix baisse logiquement avec la surface.

En outre, il convient de garder à l'esprit que des **coûts de maintenance** sont à prévoir régulièrement : remplacement de l'onduleur tous les 10 ans (environ 1 500 € TTC), utilisation du réseau Enedis (70€ TTC/an), assurance « responsabilité civile » et « dommages aux biens » en cas d'incendie, etc.

A noter que la mise en œuvre de tels dispositifs dans le cadre de **rénovation** peut induire des **coûts annexes conséquents** pour adapter la toiture, permettre le passage des réseaux électriques.

La **rentabilité** d'un tel dispositif est fortement dépendante de la possibilité de renvoi de la production d'électricité sur le réseau électrique. Le **tarif d'obligation de rachat** est fixé pour 20 ans, ce qui permet d'anticiper sur la rentabilité d'une installation. Ce tarif est dépendant :

- D'une part de l'**intégration de la structure au bâti** ;
- D'autre part de la **puissance délivrée** : la puissance la plus courante est de 3 kWc car le tarif de rachat est le plus avantageux ;
- D'autre part du choix de la **revente totale** ou de la **seule vente de la surproduction** dans le cadre d'une auto-consommation.

Il convient de garder à l'esprit que la durée de vie de tels dispositifs étant d'environ 25 ans, son **amortissement** doit être vu sur une période de **15 à 20 ans**.

Il est par ailleurs à noter que la **production d'électricité** avec revente sur le réseau est soumise à l'**impôt sur le revenu**.

Enfin, de **nombreuses aides** existent pour encourager le développement de cette filière : **TVA à 10%** si l'installation a été réalisée par un professionnel RGE (Reconnu Garant de l'Environnement) certifié Quali'PV, **exonération d'impôt** sur les revenus générés par les petites installations (< 3kW), **aides locales** (régions) ou **nationales** (ANAH, ADEME), **prime** à l'autoconsommation.

Type d'installation	Puissance (kWc)	Prix de rachat imposé (€ /kWh)
Intégration au bâti (IAB)	≤ 3 kWc	0,1719 €
	≤ 9 kWc	0,1512 €
Intégration simplifiée au bâti (ISB)	≤ 3 kWc	0,1719 €
	≤ 9 kWc	0,1512 €
Non intégré au bâti ou IAB/ESB < 100 kWc	≤ 36 kWc	0,1095 €
	≤ 100 kWc	0,0952 €

Illustration n°57 : Tarif de revente de l'électricité photovoltaïque – revente totale, Juillet à Septembre 2021

Puissance (kWc)	Prime par kWc	Prix de rachat imposé (€ /kWh)
≤ 3 kWc	380 €	0,1 €
≤ 9 kWc	280 €	0,1 €
≤ 36 kWc	160 €	0,06 €
≤ 100 kWc	80 €	0,06 €
> 100 kWc	-	-

Illustration n°58 : Tarif de revente de l'électricité photovoltaïque après auto-consommation, Juillet à Septembre 2021

Il convient de noter que l'attrait financier des tarifs de rachat imposé, les nombreuses aides mises en œuvre ont amené de nombreux commerciaux peu scrupuleux à exploiter le filon photovoltaïque. Le démarchage conduit souvent à des devis surdimensionné à des propositions d'équipements injustifiés (remplacement prématuré des onduleurs...).

Démarches

La pose de panneaux solaires photovoltaïques sur un bâtiment existant nécessite une **déclaration d'urbanisme**.

Dans le cas d'une **réinjection** partielle ou totale de l'électricité produite sur le réseau, une **demande de raccordement au réseau** doit être effectuée auprès d'Enedis, induisant un Contrat de Raccordement, d'Accès et d'Exploitation (CRAE).

Avantages / inconvénients

Avantages :

Simplicité de mise en oeuvre
Nombreuses aides existantes
Possibilité de revente totale ou partielle de la production sur le réseau

Inconvénients :

Investissements conséquents, et coût de maintenance élevés
Rentabilité dépendant de nombreux facteurs, dont le tarif de rachat imposé (de moins en moins intéressant)
Difficultés de stockage de l'énergie pour une utilisation ultérieure
Nombreuses arnaques

Pompes à chaleur et géothermie

Principes

Les **pompes à chaleur (PAC)** sont des systèmes d'**extraction d'énergie** de l'air ambiant (aérothermie) ou du sol (géothermie) pour permettre le **chauffage** ou la **production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS)** par des **Chauffe-Eau Thermodynamiques (CET)**.

Le **principe de fonctionnement** est le même que celui d'un réfrigérateur, mais inversé : tout repose sur la **différence de température** entre évaporation et condensation selon la pression d'un fluide :

- La chaleur de l'air extérieur (même à basse température) ou du sol induit l'évaporation d'un **fluide calorigène** (dont la température d'ébullition est basse) circulant dans un circuit fermé ;
- Ce fluide, traversant un **compresseur**, se condense à l'intérieur de l'habitation (ou du CET pour l'ECS), **libérant les calories** accumulées ;
- Le fluide rejoint enfin un **détendeur** le restituant à l'état liquide et à basse pression, le renvoyant à l'extérieur.

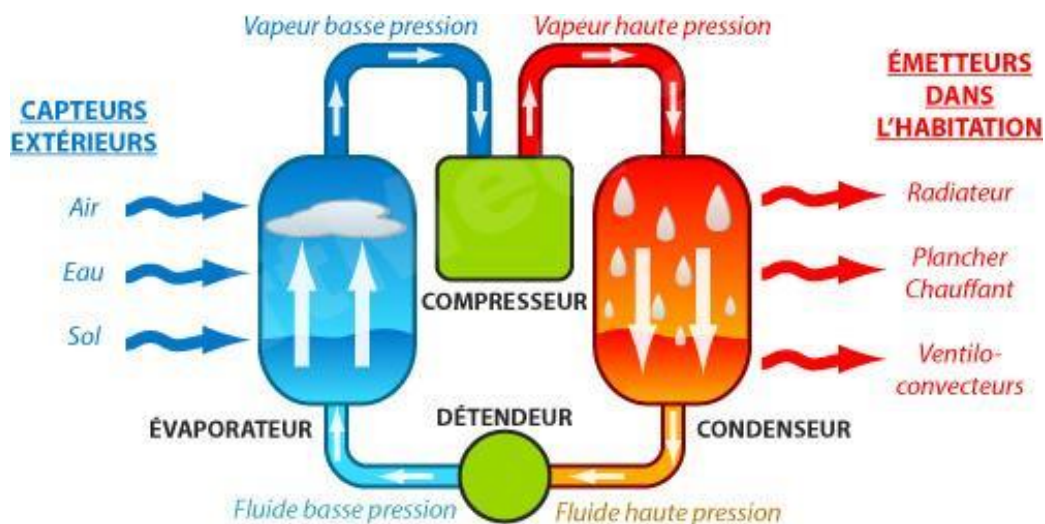


Illustration n°59 : Schéma de principe d'une pompe à chaleur (source : Elyotherm)

Ces systèmes sont **alimentés par électricité** provenant du réseau Enedis mais présentent d'**excellents rendements** au regard des systèmes de chauffage traditionnels : le **coefficient de performance (COP)** peut atteindre 4 à 5 sur certains équipements, c'est-à-dire que 1 kWh d'électricité consommé permet théoriquement d'extraire 4 à 5 kWh d'énergie thermique de l'air ambiant ou du sol.

Le COP reste toutefois une valeur **peu représentative** de la performance d'une PAC. Il est fortement **dépendant du climat** : plus il fait froid, plus les calories de l'air ou du sol vont être difficiles à extraire. L'utilisation de résistances de dégivrage peut significativement réduire le COP lors des épisodes de froid.

L'**Efficacité Energétique Saisonnière (ETAS)** apparaît être un **meilleur indicateur** de l'efficacité des PAC : il rend compte du rendement sur l'**ensemble des saisons**, intégrant les variations de températures extérieures. Cet indicateur permet de ramener le COP à environ 3 sur une année.

On distingue différents systèmes, plus ou moins coûteux et performants :

- Les **PAC aérothermiques** sont les systèmes le plus répandus : elles captent les **calories de l'air extérieur** pour les restituer dans l'habitation au moyen de ventilo-convecteurs ou de planchers chauffants à eau. Ces systèmes sont **simples** à mettre en place et **relativement économiques**, avec des COP allant de 3 à 10 suivant la température extérieure. La régulation de la température n'est pas forcément optimale, du fait de l'inertie dans le cas des planchers chauffants.
- Les **PAC géothermiques horizontales** permettent l'extraction de **calories du sol**, à environ **80 cm de profondeur**, avec un COP supérieur à l'aérothermie. Elles nécessitent toutefois une **emprise conséquente** pour être mises en œuvre, double de l'emprise du bâti.
- Les **PAC géothermiques verticales** sont des systèmes permettant l'**extraction de calories** présentes **en profondeur dans le sol** ou dans une **nappe phréatique**, avec un COP supérieur à la géothermie horizontale. Cette technologie nécessite la réalisation de forages, donc des **investissements conséquents** pour seulement étudier sa rentabilité.

Préconisations

Différentes préconisations sont à garder à l'esprit pour mettre en place une pompe à chaleur :

- Les **PAC aérothermiques** nécessitent la mise en place d'un ventilateur extérieur générant des **nuisances sonores** à prendre en considération dans le choix de l'implantation ;
- Les **PAC géothermiques verticales** nécessitent une **étude fine** des potentialités locales pour s'assurer de leur rentabilité à long terme. Ces pré-études nécessitent des **forages coûteux**. D'une manière générale, ces systèmes sont mieux rentabilisés sur des logements collectifs, permettant une meilleure répartition des coûts.
- Une **visite annuelle de contrôle** est obligatoire pour vérifier l'absence de fluide calorigène.
- La **fiabilité** des systèmes **relative** en regard d'autres solutions de chauffage.

En outre, l'étude fine de la performance d'une pompe à chaleur doit s'appuyer en priorité sur les **diagrammes de Molier** (évolution de la pression en fonction de l'enthalpie) pour bien saisir de la pertinence du choix de l'équipement au regard des contraintes climatiques locales.

Contexte actuel et impact environnemental

La vente des PAC a explosé en France au cours des 15 dernières années. Ceci est notamment lié l'introduction en 2009 de crédits d'impôts à hauteur de 40% sur le matériel et à la mise en œuvre de la **RT2012**, qui assimile à tort (sur le principe) ces systèmes à des dispositifs de **production d'énergie renouvelable**. Même si la performance de ces équipements est prometteuse, il faudrait pour affirmer cela être sûr que l'énergie électrique utilisée pour son fonctionnement est d'origine renouvelable.

Il convient de rappeler la **très forte dépendance en électricité de la Bretagne** vis-à-vis des territoires voisins (la région ne produit que 10% de l'électricité qu'elle consomme). Dès lors, il apparaît **déraisonnable de promouvoir des systèmes de production d'énergie mobilisant fortement l'électricité** : ceci pourrait notamment conduire à de très fortes demandes en hiver, lors des pics de froid, se traduisant par une **déstabilisation du réseau** et de potentielles

pannes électriques, l'activation temporaire de **centrales à incinération** pour répondre à la demande, engendrant une **hausse des émissions de GES**.

Dans ces conditions, et **conformément au Pacte Electrique Breton**, **il ne peut être recommandé de recourir aux pompes à chaleur en dispositifs de production d'énergie thermique principaux en région Bretagne**. Il apparaît par exemple plus pertinent d'orienter les porteurs de projets vers les solutions de chauffage et de production d'ECS faisant appel à la **filiale bois énergie, ressource locale renouvelable**, dont le gisement est important et dont la distribution se structure.

A noter que les **fluides frigorigènes** utilisés dans les PAC ont un très fort pouvoir de **destruction de la couche d'ozone** et de **réchauffement climatique**, de 40 à 10 000 fois supérieur à celui du CO₂. Si les fluides les plus nocifs, comme les Chloro-Fluoro Carbones (CFC), ont été interdits, les fluides aujourd'hui utilisés ont toujours un pouvoir de réchauffement climatique 1 300 à 1900 fois supérieur au CO₂. Une PAC endommagée ou mal entretenue peut ainsi avoir une incidence significative sur l'environnement.

Les difficultés de démantèlement des installations et de **recyclage** sont essentiellement liées à la gestion des **fluides calorigènes**. Les entreprises manipulant ces substances doivent faire l'objet d'une **déclaration en préfecture**.

Coût

Le **coût** varie suivant la **technologie** et la performance:

- Une **PAC aérothermique** coûte environ **60 à 90 € TTC/m² chauffé** ;
- Une **PAC géothermique horizontale** coûte environ **85 à 135 € TTC /m² chauffé** ;
- Une **PAC géothermique verticale** coûte environ **145 à 185 € TTC/m² chauffé**.

A noter que l'**entretien annuel** est **obligatoire** et peut être très coûteux dans le cadre de géothermie verticale. Ces solutions apparaissent alors plus pertinentes pour les logements groupés pour une question de répartition des coûts.

Démarches

La mise en œuvre d'une pompe à chaleur aérothermique ne nécessite **pas d'autorisation particulière** sur les **logements neufs**. La mise en œuvre d'un tel équipement dans le cadre d'une **rénovation** nécessite une **déclaration préalable** en mairie.

La mise en œuvre de **PAC géothermiques** est plus lourde : la Géothermie de Minime Importance (GMI) est régie par différents textes réglementaires :

- Code Minier (1956) et Code Minier Nouveau (ordonnance 20/01/2011) ;
- Décret n°78-498 du 28 Mars 1978 (article 17) ;
- Décret n°2006-648 du 2 Juin 2006 ;
- Décret n°2016-835 du 24 Juin 2016.

Avantages / inconvénients

Aérothermie

Avantages :

Simplicité de mise en œuvre
Rendement correct
Nombreuses aides et avantages fiscaux

Inconvénients :

Investissement élevé
Equipements nécessitant un suivi régulier, fiabilité discutable
Risque de pollution par les fluides calorigènes
Nécessité d'un apport électrique conséquent en hiver (dégivrage, perte de performance)
Nécessité d'un apport électrique = énergie non renouvelable

Géothermie horizontale

Avantages :

Rendement intéressant et plus constant que l'aérothermie
Nombreuses aides et avantages fiscaux

Inconvénients :

Investissement conséquent
Coûts d'entretien élevés
Emprise au sol importante (double du bâti)
Risque de pollution par les fluides calorigènes
Nécessité d'un apport électrique = énergie non renouvelable

Géothermie verticale

Avantages :

Rendement très intéressant et constant quelle que soit la saison

Inconvénients :

Investissement conséquent, ne serait-ce que pour les études de faisabilité
Coûts d'entretien élevés
Procédures administratives lourdes
Risque de pollution par les fluides calorigènes
Nécessité d'un apport électrique = énergie non renouvelable

Principes

Le principe de l'**énergie éolienne** repose sur l'exploitation de l'**énergie cinétique du vent** pour la convertir en énergie mécanique puis en **énergie électrique**. Indirectement, il s'agit d'une énergie solaire puisque le déplacement des masses d'air est lié aux différences de températures. Cette énergie est de ce fait renouvelable.

Le principe des éoliennes reste le même depuis l'invention du moulin à vent, en introduisant toutefois un générateur : le vent entraîne la **rotation des pales d'un rotor** placé dans l'axe du vent, cette rotation entraîne un **multiplicateur** permettant de transformer la vitesse de rotation lente du rotor en une **vitesse rapide**, entraînant un **générateur** produisant une électricité réinjectée sur le **réseau électrique** Enedis.

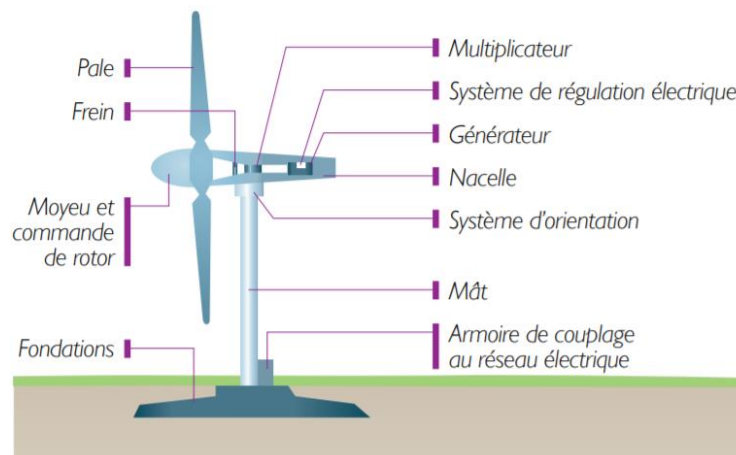


Illustration n°60 : Schéma d'une éolienne (source : ADEME)

En fonction de la puissance électrique délivrable par les engins, on distingue :

- Le **petit éolien**, comprenant des machines d'une puissance inférieure 36 kW ;
- Le **moyen éolien**, comprenant des machines d'une puissance de 36 kW à 350 kW ;
- Le **grand éolien**, d'une puissance supérieure à 350 kW et pouvant atteindre jusqu'à 3 MW sur terre voire 6 MW en mer ;

Le **grand éolien** prend la forme d'éoliennes à axe horizontal tripales placées sur des mats de plusieurs dizaines de mètres de hauteur, souvent regroupées en champs éoliens, pouvant parfois être implantés en mer (**éolien offshore**). Les équipements de plus de 50 m de hauteur doivent être placés à **plus de 500 m des habitations** et ne sont par conséquent pas mis en place dans le cadre d'opérations d'aménagements, mais dans des plans élaborés au niveau départemental voire régional. Le grand éolien est une **technologie mature**, avec des rendements proches des limites théoriques (limite de Betz). L'ensemble de la production d'énergie électrique par l'éolien est en général **revendu à Enedis**, mais profite aux consommateurs locaux.

Le **petit et moyen éolien** peut prendre la forme d'éoliennes à **axe horizontal ou vertical**. Les éoliennes à axe vertical présentent l'avantage de pouvoir produire de l'électricité à partir de vent multidirectionnels. Le petit éolien et le moyen éolien sont aujourd'hui **peu développés** en France du fait de l'**absence d'obligation de rachat de l'énergie produite hors des Zones de Développement Eolien (ZDE)** par le réseau électrique Enedis.



Illustration n°61 : Eolienne urbaine
(source : Wikipedia)



Illustration n°62 : Eolienne à
axe vertical (source :
Wikipedia)



Illustration n°63 : Grand éolien
(source : Wikipedia)

Les **principales contraintes techniques** de l'énergie éolienne restent :

- La **restriction de possibilités d'implantation**, du fait des **potentielles nuisances** ;
- La très forte **variabilité du vent**, et donc l'intermittence de la production d'énergie. On considère une **disponibilité moyenne de 20%** sur une année, pas forcément synchronisée avec les besoins.
- La **très grande difficulté de stockage** de l'énergie à tension élevée, nécessitant que la **consommation de l'énergie** se fasse **simultanément** à la production. Ceci constitue un verrou technologique à l'essor de la technologie éolienne.

Préconisations

Les **préconisations** pour la mise en place du **petit et du moyen éolien** sont :

- Le choix d'un site placé sur un **point haut** ;
- La réalisation d'une **étude spécifique des vents sur site** à l'issue de l'aménagement : le potentiel de production d'énergie est fortement dépendant des éléments paysagers (haies, bâti) et l'implantation des éoliennes doit ainsi être finement étudiée pour optimiser le rendement ;
- L'**intégration visuelle et paysagère** des éoliennes : ceci est d'autant plus vrai dans une commune appartenant à un parc naturel régional ;
- Le choix de dispositifs de qualité limitant les **nuisances sonores** ;
- La mise en œuvre d'un **suivi régulier** des équipements pour s'assurer de leur **performance**, de l'absence de **risque de chute** et de **nuisances sonores**.

Contexte actuel et impact environnemental

L'énergie éolienne a connu un **essor considérable** au niveau européen, national et local au cours des 15 dernières années. Ainsi, en **Bretagne**, la production d'énergie éolienne a été **multipliée par 21 entre 2005 et 2018**, pour assurer 18% de la production énergétique régionale.

Le grand éolien se voit toutefois de plus en plus **contesté** :

- Les **incidences paysagères** : l'implantation de parcs éoliens mobilise des surfaces importantes et conduit à édifier des engins pouvant atteindre 150 m de hauteur.
- Les **potentiels impacts environnementaux** : les extrémités des pales, du fait de leur vitesse de rotation, peuvent percuter les oiseaux et chiroptères.
- Les **potentielles incidences sanitaires** : des riverains notent l'apparition de maladies physiologiques tant chez les animaux (mortalité dans les élevages) que chez l'Homme (troubles neurologiques, cardiovasculaires ou socio-comportementaux regroupés sous le nom de « **syndrome de l'éolienne** »). Si les infrasons générés par les éoliennes sont pointés du doigt, **aucune preuve scientifique** n'a permis de mettre en évidence un lien de cause à effet.

De ce fait l'**avenir du grand éolien** sera probablement **offshore**. Le **petit éolien** et le **moyen éolien** demeurent **perfectibles**, ces technologies sont **nettement moins rentable que le photovoltaïque** (le rachat de l'énergie par le réseau n'étant pas imposé) pour un impact paysager et acoustique supérieur.

A noter que l'**éolien couplé à des retenues d'eau** permet de s'affranchir du problème de la disponibilité de la ressource en vent, permettant de faire coïncider production d'énergies et besoin en énergie. Sur ce principe, le **Danemark** et la **Norvège** se sont associés pour mutualiser leurs capacités de production d'énergie renouvelable : les barrages hydroélectriques norvégiens fournissent de l'énergie au Danemark lorsque les éoliennes ne suffisent pas, en contrepartie de quoi les éoliennes danoises contribuent à pomper l'eau vers les retenues des barrages lors de surproductions. De tels partenariats sont l'**avenir de l'éolien**. D'autres pistes sont à l'étude, notamment le couplage entre éolienne et **recharge de piles à combustibles** (notamment utilisables par des véhicules à hydrogènes) lors des phases de surproduction.

Coût

Le coût du **grand éolien** varie beaucoup, notamment en fonction des besoins en termes d'ancrage et de localisation (notamment pour l'offshore). Selon l'ADEME, le grand éolien terrestre coûte de **1 300 à 1 500 € TTC/kW à l'installation**, avec des frais d'exploitation annuels de 2 à 3% de l'investissement initial.

Le prix du **petit et moyen éolien** est, selon l'ADEME, compris entre **2 500 et 9 000 € TTC/kW à l'installation**, notamment en fonction de la hauteur du mat, du type d'éolienne et du support. A noter

L'énergie éolienne étant fluctuante au tour du temps, la production ne coïncide pas forcément avec les besoins à l'échelle d'une journée. Dès lors, la **rentabilité** de l'implantation d'une éolienne dépend essentiellement de la **possibilité de revente sur le réseau** de l'excédent d'énergie produit. L'**obligation de rachat** de cette énergie ne vaut que dans les **Zones de Développement Eolien (ZDE)**, où le tarif se trouve réglementé et garanti pendant 10 ans (**0,082 € / kWh HT**). Pendant les 5 années suivantes, ce tarif peut être maintenu ou chuter jusqu'à 0,028 €/kWh HT. Dans cette configuration, il est **plus intéressant** de consommer en priorité sa production et de **ne revendre que l'excédent** si cela est possible, en envisageant une rentabilisation sur 10 ans. A titre de comparaison, le tarif rachat du kWh photovoltaïque est compris entre 0,1051 et 0,1853 € HT en 2020.

L'installation d'une éolienne domestique ne donne pas droit à un crédit d'impôt. La **TVA** pour la main d'œuvre et le matériel peut toutefois être **ramenée à 10%** si l'éolienne est installée à proximité d'une résidence principale, ou d'une résidence secondaire de plus de 2 ans. A noter que l'**ADEME subventionne** le petit éolien.

Démarches

La mise en œuvre d'éoliennes **inférieures à 12 m** de hauteur ne nécessite **pas d'autorisation particulière**.

La mise en œuvre d'éoliennes **supérieures à 12 m** de hauteur nécessite un **permis de construire** (R.421-2 du code de l'urbanisme).

La mise en œuvre d'éoliennes de **plus de 50 m de hauteur** est soumise au régime des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (**ICPE**), à **étude d'impact** et à **enquête publique**. Ces éoliennes doivent être placées à plus de 500 m des habitations (articles L.553-2 et R.122-9 du code de l'environnement).

Avantages / inconvénients

Petit et moyen éolien

Avantages :

Energie renouvelable
Emprise au sol limitée
Simplicité d'installation

Inconvénients :

Investissement pouvant être élevé
Potentiel de production à étudier finement en fonction de l'environnement du projet
Entretien régulier à effectuer pour limiter les potentielles nuisances sonores et optimiser la production
Intermittence de la production couplée à une absence d'obligation de rachat de l'électricité hors ZDE
Tarif de rachat de l'électricité faible en comparaison du photovoltaïque, même en ZDE

Principes

L'utilisation du **bois** pour la production d'énergie thermique est **ancestrale**, aussi bien pour le chauffage, la production d'ECS que pour la cuisine ou l'éclairage. Le bois présente l'avantage d'être une ressource **facilement disponible, abordable, facile à manipuler** et **peu risquée** à stocker. La croissance de la biomasse étant issue de la **photosynthèse**, il s'agit indirectement d'une **énergie solaire**. Il s'agit d'une **énergie renouvelable**, pour peu que le bois utilisé soit exploité dans une **logique durable** (renouvellement du boisement au fur et à mesure de sa coupe).

Jadis réservé aux cheminées à foyer ouvert, la **filière bois-énergie** a su **évoluer** pour proposer des **systèmes de chauffage plus performants**, automatisés tout en restant **simple, fiables** et **rustiques**. Les **formes de combustibles** se sont également adaptées pour optimiser le rendement, simplifier la manipulation et le stockage, réduire l'entretien.

Ainsi, le bois énergie se trouve aujourd'hui distribué sous plusieurs formes :

- Le **bois buche** peut être livré par palettes de bois certifié. Son stockage et sa manutention restent des plus simples.
- Le **bois déchiqueté** et les **plaquettes** issus du broyat des déchets des exploitations agricoles et forestières sont rustiques et simples à manipuler.
- Les **granulés de bois** sont produits à partir de sciure de bois séchée issue de l'industrie du bois. Il s'agit d'un produit beaucoup plus homogène que la plaquette, donc plus facilement utilisable.



Illustration n°64 : Différentes formes d'énergie bois (source : Plan Bois Energie Bretagne)

Les **systèmes de production d'énergie** se sont adaptés aux besoins et aux usages, tant pour les logements individuels que collectifs :

- Les **inserts et poêles à bois bûche** peuvent constituer un chauffage d'appoint, ne sont pas automatisables et ont une faible autonomie ;
- Les **poêles à granulés** permettent une automatisation de l'alimentation, donc une meilleure autonomie et un meilleur confort d'utilisation, pour la production de chauffage ;
- Les **chaudières à granulés** permettent une automatisation équivalente à une chaudière fioul ou gaz, avec une bonne autonomie, permettant un chauffage central et la production d'ECS. Elles nécessitent toutefois la mise en place d'un **silo** attendant pour stocker le combustible, et donc d'une **pièce technique** dédiée.

La **filière bois énergie** est une source d'énergie particulièrement **intéressante** :

- Il s'agit d'une ressource **renouvelable**, pouvant être planté en quantité dans un délai cohérent à l'échelle humaine ;
- Il s'agit d'une source d'énergie **neutre pour l'effet de serre**, dans le cadre d'une gestion raisonnée : le carbone dégagé par sa combustion se trouve compensé par l'absorption par photosynthèse de la biomasse se développant ;
- Il s'agit d'une ressource **abordable**, dont le coût est moins fluctuant que les hydrocarbures et le gaz naturel massivement importés et soumis aux aléas géopolitiques ;
- Il s'agit d'une ressource **locale**, nécessitant peu de transport et favorisant les emplois locaux comme l'autonomie énergétique et la balance commerciale nationale ;
- Il s'agit d'une ressource **performante** : les dispositifs de combustion récents peuvent être automatisés et disposer d'un très bon rendement (supérieur à 90% sur certains équipements) permettant d'optimiser la consommation et donc le coût à l'usage.

Toutefois, cette filière se trouve des **inconvénients** :

- La **manutention régulière** du bois peut être nécessaire pour approvisionner certains équipements les moins perfectionnés ;
- Le **stockage** du bois nécessite un volume conséquent, notamment pour les logements collectifs, ce qui doit être pris en considération dans la conception des bâtiments ;
- Certains équipements **rustiques** (notamment pour le bois bûche) ne permettent pas d'automatiser l'approvisionnement ou de réguler le fonctionnement ;
- Il est nécessaire d'opter pour des dispositifs (poêles, chaudières) performants pour **optimiser la combustion** et ainsi **limiter les rejets de fumées**. Des dispositifs de traitement des fumées sont nécessaires sur les équipements les plus importants.

Préconisations

En France, le **label Flamme Verte** est un label de qualité élaboré par l'ADEME en partenariat avec les différents fabricants d'appareils de chauffage. Il vise à promouvoir les **équipements vertueux** tant d'un point de vue **énergétique** (rendement) qu'**environnemental** (rejets de fumées). Favoriser ces dispositifs est ainsi un gage d'équipements de qualité.

Il importe dans le choix des équipements d'**optimiser la performance** (tirage forcé, sonde Lambda, voire chaudières à condensation récupérant de l'énergie au niveau des fumées) pour **limiter la consommation en combustible** et de bien **étudier le dimensionnement** du poêle pour assurer un **rendement optimal**.

Concernant l'**installation**, il importe de s'orienter vers des installateurs avec la **certification Qualibois**. Ceci est en outre une condition impérative pour bénéficier de l'aide

gouvernementale « MaPrimeRénov » et du crédit d'impôt. Au-delà de cette certification, la **réactivité** et la **disponibilité** du professionnel qui sera chargé de son **entretien** sont primordiales.

Le lieu de **stockage du combustible** est particulièrement **important**. Le bois, quelle que soit sa forme, doit être stocké **au sec**, en intérieur, à **proximité** du dispositif de combustion pour **limiter la manutention** tout en restant **aisé à approvisionner** depuis l'extérieur.

Il convient d'opter pour des **combustibles de bonne qualité**, normés, présentant un **bon pouvoir calorifique** pour **optimiser la combustion** et **éviter le bourrage** du système d'alimentation de la chaudière.

En rénovation notamment, le système peut être couplé au dispositif de **chauffage central** à eau et permettre ainsi de se substituer à une chaudière à fioul ou à gaz.

Contexte actuel et impact environnemental

La filière bois-énergie est une **ressource renouvelable**. Son impact sur l'**effet de serre** est **neutre**, des lors que les sources d'approvisionnement sont gérées de manière durable (nouvelle plantation du boisement au fur et à mesure de sa coupe).

La filière bois énergie apparaît être une **source d'énergie d'avenir** de par l'importance du gisement de combustible en France et des **optimisations possibles**, notamment dans la filière agricole. Il s'agit d'une **ressource locale**, favorisant les **emplois locaux** et **réduisant la dépendance énergétique** nationale, tout comme la dette extérieure.

Le **prix du bois énergie** apparaît **mesuré, stable** et beaucoup moins volatile que les énergies fossiles ou même l'électricité distribuée au réseau, ce qui peut s'avérer fort intéressant sur le long terme.

Toutefois, il importe de bien **privilégier les ressources d'origine locale** notamment pour limiter l'impact du transport sur le bilan énergétique global de l'équipement.

Coût

Le **coût de l'équipement** est **très variable** en fonction de sa puissance et de sa complexité :

- Un **poêle à bois simple** coûte entre **1 000 et 6 000 € TTC posé** ;
- Un **poêle à granulés simple** coûte entre **4 500 et 8 000 € TTC posé** ;
- Une **chaudière à granulés** coûte entre **12 000 et 20 000 € TTC posé**. Ce coût d'une chaufferie commune mise en œuvre dans un bâtiment de logements collectif est inférieur, une fois rapporté au nombre de logements.

Cet investissement, s'il peut être conséquent, est à ramener sur une **durée de vie de 15 à 20 ans**.

Des **coûts supplémentaires** significatifs peuvent s'imposer dans le cadre de **rénovation** (création ou modification d'un conduit de cheminée par exemple).

En termes de fonctionnement, le **combustible bois** est **le plus abordable**, d'un prix inférieur au gaz, au fioul et à l'électricité à énergie équivalente. Le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) retenu pour les granulés est de 4 700 kWh/t, soit un **prix final de 0,0726 €/kWh TTC** en intégrant la TVA à 10%.

Il est à noter que l'**installation** d'un poêle à bois en rénovation comme dans le neuf est éligible à un **crédit d'impôt** sous conditions de ressources, à destination des revenus intermédiaires et les plus modestes. Ces travaux sont également éligibles à l'**aide à la rénovation énergétique** « MaPrimeRénov ». Au total, le forfait cumulé des 2 dispositifs permet une aide allant de 600 € à 3 000 € TTC en fonction des revenus et des équipements mis en œuvre. Cette aide est plafonnée à 75%, voire 90% des travaux pour les revenus les plus modestes. Il est à noter que ce montant forfaitaire favorise les poêles à bas prix et écarte les systèmes les plus performants.

Au-delà du nettoyage du foyer, de la vitre, de l'évacuation des cendres, l'**entretien** des poêles et chaudière est **obligatoire**, mais demeure **simple** : entretien annuel du conduit de fumée et contrôle des organes de sécurité par un professionnel. Le **ramonage** est imposé **2 fois par an**, dont une fois pendant la saison de chauffe. Il faut ainsi compter entre 175 et 225 €TTC/an sur une habitation individuelle. Ces coûts sont moindres sur des équipements collectifs, une fois rapportés au nombre de logements.

Avantages / inconvénients

Avantages :

- Energie renouvelable
- Faible coût d'utilisation
- Ressource locale
- Facilité et sécurité de manutention
- Simple, rustique, fiable
- Entretien limité
- Alimentation en combustible automatisée sur les systèmes perfectionnés
- Possibilité de combiner à un chauffage central
- Dispositifs d'aides financières

Inconvénients :

- Autonomie limitée sur les systèmes simples
- Manutention régulière du bois nécessaire sur les systèmes simples (tous les 3 à 4 jours)
- Besoin de place pour stocker le combustible (silo), de préférence à proximité du système et pouvant être alimenté aisément
- Bruits du système d'alimentation de certaines chaudières
- Ventilation bruyante de certains modèles de poêles
- Rejets de fumées sur les dispositifs les moins performants
- Aides financières généreuses incitant les revendeurs à gonfler leurs prix

Annexe 2 : hypothèses relatives aux émissions de CO₂ liées au bâti

Le tableau suivant présente les émissions de gaz à effet de serre par kWh électrique émis en fonction de l'usage de l'électricité. Les coefficients utilisés sont issus de l'arrêté du 15 Septembre 2006 relatif au Diagnostic de Performance Energétique et du bilan établi par l'ADEME en 2005 sur les émissions de gaz à effet de serre des kWh électriques en fonction de l'usage de l'électricité.

Energie	Chauffage	Production d'ECS
Bois, biomasse	0,013	0,013
Gaz naturel	0,234	0,234
Fioul domestique	0,3	0,3
Charbon	0,342	0,384
Gaz popane / butane	0,274	0,274
Autres combustibles fossiles	0,32	0,32
Electricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment	0	0
Electricité (hors électricité renouvelable utilisée dans le bâtiment)	0,18	0,04

Extrait de l'annexe 4 de l'arrêté du 15 Septembre 2006 relatif au DPE

Emissions de CO ₂ de l'électricité selon usage, d'après la note ADEME 2005 (kgCO ₂ /kWhP _{Cléf} , ou tCO ₂ /MWhP _{Cléf})	
Chauffage	0,18
Eclairage	0,1
Cuisson, lavage	0,06
Autres usages résidentiels	0,04

Extrait de la note de cadrage sur le contenu en CO₂ du kWh électrique par usage en France (source : ADEME, 2005)

Annexe 3 : hypothèses relatives aux émissions polluantes des véhicules

L'évaluation des émissions polluantes liées aux transports dans le projet se base sur les normes EURO qui fixent les limites d'émissions en fonction du type de véhicule et du carburant utilisé. Ces seuils évoluent d'années en années et tendent à être de plus en plus contraignants en vue de restreindre les émissions.

Récapitulatif des normes EURO pour les véhicules <u>DIESEL</u> en mg/km								
Norme	Oxydes d'azote (NOx)	Monoxyde de carbone (CO)	Hydrocarbures (HC)	HC + NOx	Particules (PM)*	Particules (PN)**	Hydrocarbures non méthaniques (HCNM)	Dioxyde de carbone (CO ₂)
Unités	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	Nb/km	mg/km	mg/km
EURO 1	/	2 720	/	970	140	/	/	175 500
EURO 2	/	1 000	/	900	100	/	/	168 500
EURO 3	500	640	/	560	50	/	/	154 200
EURO 4	250	500	/	300	25	/	/	142 750
EURO 5	180	500	/	230	5	6.10 ¹¹	/	127 000
EURO 6	80	500	/	170	4,5	6.10 ¹¹	/	110 000

Récapitulatif des normes EURO pour les véhicules <u>ESSENCE</u> en mg/km								
Norme	Oxydes d'azote (NOx)	Monoxyde de carbone (CO)	Hydrocarbures (HC)	HC + NOx	Particules (PM)*	Particules (PN)**	Hydrocarbures non méthaniques (HCNM)	Dioxyde de carbone (CO ₂)
Unités	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	Nb/km	mg/km	mg/km
EURO 1	/	2 720	/	/	/	/	/	175 500
EURO 2	/	2 200	/	/	/	/	/	168 500
EURO 3	150	2 200	200	/	/	/	/	154 200
EURO 4	80	1 000	100	/	/	/	/	142 750
EURO 5	60	1 000	100	/	5	/	68	127 000
EURO 6	60	1 000	100	/	5	6.10 ¹²	68	110 000

* Particules en suspension, exprimées en mg/km

** Nombre de particules, exprimé en unité/km

*** Les émissions de CO₂ ne sont pas prises en compte dans ces normes car ce gaz n'est pas considéré par la législation automobile européenne comme un gaz polluant direct. Les émissions mentionnées sont estimées à partir de la publication « Véhicules particuliers vendus en France » de l'ADEME

L'Observatoire Régional des Transports en Bretagne (ORTB) suit l'évolution du parc automobile breton. Les données de l'étude menée au 1^{er} Janvier 2018 sont répertoriées dans le tableau suivant. Il est à noter que ces données anciennes ne relatent pas la part croissante de véhicules électriques.

Âge des véhicules du parc automobile breton au 01/01/18	Nombre de véhicules	Part
< 4 ans	288 339	17%
4 à 5 ans	198 484	12%
6 à 7 ans	238 095	14%
8 à 10 ans	387 529	23%
11 à 15 ans	566 349	34%
Total	1 678 796	100%

Sources d'énergie des véhicules du parc automobile breton au 01/01/18	Nombre de véhicules	Part
Essence - superéthanol	464 857	27,7%
Gazole	1 187 604	70,7%
Hybride - essence	12 549	0,7%
Biocarburant - GPL	7 493	0,4%
Hybride - gazole	2 485	0,1%
Electricité	3 649	0,2%
Non déterminé	159	0%
Total	1 678 796	100%

Âge et sources d'énergie des véhicules du parc automobile breton au 01/01/2018 (source : ORTB, 2018)