



Projet d'aménagement « Les Hauts de Ty Nehué »

Aménagement d'un quartier d'habitations
sur les tranches 1 et 2 du secteur de Ty Nehué
à PONT-SCORFF (56)

-

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



Référence interne : 21A
Septembre 2021

Maître d'ouvrage :
AF OUEST
6423 ZONE D'ACTIVITE LA METAIRIE
35520 MELESSE

Version	Date	Remarques
0.9	01/09/2021	Version transmise au maître d'ouvrage pour validation
1.0	10/09/2021	Version finalisée pour dépôt et instruction

Porteur de projet :

AF OUEST

SIRET : 882 470 586 00018

Représenté par M. Antoine LE DALL, responsable développement et programmes

6423 ZONE D'ACTIVITE LA METAIRIE

35520 MELESSE

Rédacteur de l'étude :

AURINKO

Représenté par Sébastien GARDE

52 rue du Clos Tilhen

56000 VANNES

sebastien.garde.56@gmail.com

06.13.28.03.17

Sommaire

Sommaire	3
Table des illustrations	5
Lexique	9
I. Introduction	11
II. Eléments de contexte.....	13
A. La lutte contre le réchauffement climatique	13
B. Evolution de la réglementation thermique en France	16
C. Les énergies renouvelables	19
D. Contexte énergétique en région Bretagne	20
E. Contexte territorial et communal	24
III. Présentation du projet.....	31
A. Localisation du projet	31
B. Topographie.....	32
C. Eléments paysagers	33
D. Schéma d'aménagement étudié	34
E. Programmation.....	35
F. Label	36
IV. Sources d'énergie mobilisables sur le site	37
A. Energies fossiles	37
B. Energies renouvelables	38
V. Etude du potentiel de la zone d'étude vis-à-vis des énergies renouvelables	41
A. Energie solaire	41
B. Energie éolienne	44
C. Energie géothermique	46
D. Récupération d'énergie sur les eaux usées	47
E. Biogaz	48
F. Energie bois	49
G. Synthèse du potentiel de développement des énergies renouvelables sur la zone	51
H. Synthèse sur l'impact environnemental des énergies mobilisables	52
VI. Phase 1 : évaluation de la consommation énergétique du projet	55
A. Usages liés au bâti	55
B. Eclairage public	60
C. Transports	64
D. Energie gris liée à la construction des bâtiments	67
VII. Phase 2 : approvisionnement en énergie du projet	69
A. Production d'électricité par petit et moyen éolien	69
B. Production de chaleur et/ou d'électricité par énergie solaire	71
C. Production de chaleur par aérothermie	72
D. Production de chaleur par géothermie	73
E. Production de chaleur par bois énergie	73
F. Cloacothermie	73
G. Synthèse	74
VIII. Phase 3 : étude d'opportunité de création d'un réseau de chaleur alimenté par les EnR	75
A. Etude d'opportunité du réseau de chaleur sur le secteur	75
B. Notion de densité énergétique pour un réseau de chaleur	75
C. Hypothèses de consommations retenues	76
D. Etude d'opportunité	76
E. Analyse quantitative	78

IX.	Phase 4 : étude de l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables	81
A.	Définition des scénarios	81
B.	Comparaison des consommations en énergie finale	82
X.	Prospectives : pistes de mesures compensatoires	95
A.	Note sur les unités de mesures.....	95
B.	Emissions de CO ₂ des différentes solutions énergétiques	95
C.	Principe de compensation carbone.....	99
D.	Proposition de mesures compensatoires à l'échelle du projet.....	100
XI.	Synthèse des avantages et contraintes des énergies renouvelables étudiées.....	105
XII.	Synthèse et conclusions	107
XIII.	Annexes.....	110
A.	Annexe 1 : fiches techniques sur les énergies renouvelables	110
B.	Annexe 2 : coût des investissements	135
C.	Annexe 3 : coût de l'énergie	136
D.	Annexe 4 : frais de maintenance prix en compte	137
E.	Annexe 5 : hypothèses relatives aux émissions de CO ₂ liées au bâti	138
F.	Annexe 6 : hypothèses relatives aux émissions polluantes des véhicules.....	139

Table des illustrations

Illustration n°1 : Illustration de l'aménagement projeté du site	11
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)	20
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)	21
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)	22
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)	23
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)	23
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)	24
Illustration n°8 : Les nouveaux périmètres des PCAET, situation en 2017 (source : Région Bretagne, 2018)	26
Illustration n°9 : consommations énergétiques sur le territoire de Lorient Agglomération , en énergie finale (Source : plaquette de présentation du PCAET – 2020)	27
Illustration n°10 : Répartition des émissions de GES au niveau du territoire de Lorient Agglomération, selon les différentes sources, et comparaison avec les répartitions régionales et nationales.....	27
Illustration n°11 : Répartition des émissions du territoire en 2016 par polluant.....	28
Illustration n°12 : Localisation du projet au niveau intercommunal (source : IGN, Géoportail)	31
Illustration n°13 : Extrait cadastral de la commune de PONT-SCORFF.....	32
Illustration n°14 : Topographie du secteur (source : BD TOPO).....	32
Illustration n°15 : Topographie à l'échelle du site (source : BD TOPO)	33
Illustration n°16 : Occupation des sols en l'état actuel.....	34
Illustration n°17 : OAP sectorielle issue du PLU de 2018 (source : PLU)	35
Illustration n°18 : Illustration du plan masse du projet.....	36
Illustration n°19 : Insolation annuelle en Bretagne – Moyenne sur la période 1997-2006 (source : Bretagne Environnement)	41
Illustration n°20 : Orientation optimale des façades principales : SUD +/- 20°.....	42
Illustration n°21 : Capteurs solaires thermiques sur toitures végétales (source : Wikipédia)	43
Illustration n°22 : Capteurs solaires photovoltaïques en toiture (source : Wikipédia).....	43
Illustration n°23 : Rose des vents de la station Lorient-Lann Bihoué pour la période 1991-2010 (source : Météo-France)	44
Illustration n°24 : Grand éolien – Parc éolien à Estinnes, en Belgique (source : Wikipédia).....	45
Illustration n°25 : Exemple de petite éolienne verticale (source : EOLIE).....	45
Illustration n°26 : Principes de fonctionnement d'un récupérateur de chaleur d'eaux de douches (source : ZYPHO)	47
Illustration n°27 : Principe de la méthanisation (source : EDF)	48
Illustration n°28 : Différentes formes d'énergie bois (source : Plan Bois Energie Bretagne)	50
Illustration n°29 : Etude des consommations électriques pour les usages domestiques d'un ménage moyen en 2010 (source: Negawatt).....	57
Illustration n°30 : Tableau des consommations énergétiques en fonction de la performance énergétique, en fonction de la typologie du bâti.....	57

Illustration n°31 : Graphique des consommations énergétiques en fonction de la performance énergétique, en fonction de la typologie du bâti.....	58
Illustration n°32 : Consommation en énergie finale de l'ensemble du bâti de l'opération en fonction de la performance énergétique.....	59
Illustration n°33 : Estimation de l'évolution de la pollution lumineuse en Amérique du Nord entre 1950 et 2025 (source : Cinzano, Falchi, ELvidge, 2001).	62
Illustration n°34 : Vers un meilleur éclairage des espaces publics (Source : RICEEMM.org)	63
Illustration n°35 : Comparaison des scénarios d'éclairage public	64
Illustration n°36 : Schéma d'implantation possible du petit éolien sur une trame de 22 m.....	70
Illustration n°37 : estimation des surfaces disponibles pour l'implantation de panneaux solaires sur l'ensemble de l'opération	71
Illustration n°38 : productibilité moyenne annuelle estimée pour les différents types de capteurs solaires envisageables à l'échelle du projet.....	71
Illustration n°39 : productibilité moyenne annuelle estimée pour la production d'énergie solaire à l'échelle du projet	72
Illustration n°40 : Taux de couvertures des besoins énergétiques par les EnR mobilisables à l'échelle du projet	74
Illustration n°41 : Tableau des consommations énergétiques en fonction de la performance énergétique, en fonction de la typologie du bâti.....	76
Illustration n°42 : Analyse qualitative de la densité énergétique pour un exemple d'implantation.....	77
Illustration n°43 : Analyse quantitative de la densité énergétique pour un exemple d'implantation.....	78
Illustration n°44 : synthèse des équipements envisagés dans le cadre des différents scénarios	81
Illustration n°45 : 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 (Mwhef/an).....	82
Illustration n°46 : Comparaison du coût de l'investissement lié aux systèmes énergétiques en €/TTC par logement – logements collectifs	83
Illustration n°47 : Comparaison du coût de l'investissement lié aux systèmes énergétiques en €/TTC par logement – logements intermédiaires	84
Illustration n°48 : Comparaison du coût de l'investissement lié aux systèmes énergétiques en €/TTC par logement – maisons individuelles.....	84
Illustration n°49 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement RT2012 (en € TTC) - Logement collectif de 65 m² RT2012.....	86
Illustration n°50 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement passif(en € TTC) – Logement collectif de 70 m² RT2012.....	86
Illustration n°51 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement RT2012 (en € TTC) - Logement individuel groupé de 90 m² RT2012	87
Illustration n°52 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement passif(en € TTC) - Logement individuel groupé de 90 m² m² RT2012	88
Illustration n°53 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement RT2012 (en € TTC) - Logement individuel de 140 m² RT2012.....	88

Illustration n°54 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement passif(en € TTC) - Logement individuel de 140 m² RT2012.....	89
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)	89
Illustration n°56 : Comparaison des différents scénarios sur les émissions de CO ₂ liées	90
Illustration n°57 : répartition du parc automobile attendu sur le site de l'opération selon les normes EURO et la carburant utilisé (source ADEME)	98
Illustration n°58 : Emissions annuelles estimées pour le parc automobile de l'ensemble de l'opération.....	98
Illustration n°59 : Synthèse des émissions annuelles estimées à l'échelle de l'ensemble de l'opération.....	99
Illustration n°60 : Part de la consommation d'électricité spécifique pouvant être produite par panneaux solaires photovoltaïque à l'échelle du projet	100
Illustration n°61 : Surfaces de forêt équivalente à planter localement pour compenser les émissions de CO ₂ des logements en fonction des scénarios et de la performance énergétique	102
Illustration n°62 : Surfaces de forêt équivalente à planter localement pour compenser les émissions de CO ₂ des logements, de l'éclairage public et du transport en fonction des scénarios et de la performance énergétique	103
Illustration n°63 : Taux de couvertures des besoins énergétiques par les EnR mobilisables à l'échelle du projet	107
Illustration n°64 : Trajectoire du soleil suivant la saison (source : lepanneausolaire.net)	111
Illustration n°65 : La conception bioclimatique (source : inex.fr)	112
Illustration n°66 : Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire individuel (source : ADEME)	114
Illustration n°67 : Principe de fonctionnement d'un chauffage solaire (source : Solisart)	115
Illustration n°68 : Schéma d'une installation photovoltaïque reliée au réseau (source : ADEME)	117
Illustration n°69 : Panneau solaire multicristallin (source : conseils-thermiques.org)	118
Illustration n°70 : Membrane d'étanchéité sur bâtiment tertiaire (source : TALEV.fr)	118
Illustration n°71 : Tarif de revente de l'électricité photovoltaïque – revente totale, Juillet à Septembre 2021	120
Illustration n°72 : Tarif de revente de l'électricité photovoltaïque après auto-consommation, Juillet à Septembre 2021	120
Illustration n°73 : Schéma de principe d'une pompe à chaleur (source : Elyotherm)	123
Illustration n°74 : Schéma d'une éolienne (source : ADEME)	127
Illustration n°75 : Eolienne urbaine (source : Wikipedia)	128
Illustration n°76 : Eolienne à axe vertical (source : Wikipedia)	128
Illustration n°77 : Grand éolien (source : Wikipedia)	128
Illustration n°78 : Différentes formes d'énergie bois (source : Plan Bois Energie Bretagne)	131

Lexique

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/m² 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
RE2020	Règlementation Energétique amenée à être prochainement mise en œuvre
RT2000	Règlementation Thermique en vigueur de 2000 à 2005
RT2005	Règlementation Thermique en vigueur de 2005 à fin 2012
RT2012	Règlementation Thermique en vigueur depuis 2013
RT74	Règlementation Thermique en vigueur entre 1974 et 1982
RT82	Règlementation Thermique en vigueur entre 1982 et 1988
RT88	Règlementation Thermique en vigueur entre 1988 et 2000
SDP	Surface De Plancher
SHAB	Surface habitable
SHON	Surface Hors Œuvre 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
T_{eq}CO₂	Tonne équivalent de CO ₂
THPE	Très Haute Performance Energétique
Tic	Température intérieure de confort, issue de la RT2012

I. Introduction

La **société AF OUEST** porte le projet d'aménagement d'un quartier d'habitations sur les tranches 1 et 2 du secteur de Ty Nehué, à l'**Ouest du bourg de la commune de PONT-SCORFF** dans le département du Morbihan. Cette opération nommée « **Les Hauts de Ty Nehué** » prévoit l'aménagement de **127 logements** individuels et collectifs sur une emprise de **5,1 ha**.

Le site du projet s'étend sur un **secteur 1AU** au PLU de PONT-SCORFF, lequel a fait l'objet d'une évaluation environnementale. Ces secteurs ont vocation à être ouverts à l'urbanisation en vue de construire des logements et permettre l'implantation d'activités compatibles avec l'habitat. Les possibilités d'aménagement sur ces secteurs sont encadrées : le site de Ty Nehué a notamment fait l'objet d'une **Orientation d'Aménagement et de Programmation** (OAP) sectorielle définissant la trame d'aménagement et les objectifs notamment en termes de programmation et de densité de logements.

Le projet prévoit l'aménagement de **127 logements** sur 4,86 ha (soit une densité de 26 logements/ha) répartis de la façon suivante :

- **30 logements collectifs** se répartissant sur 2 îlots A et B ;
- **8 logements intermédiaires** ;
- **89 logements individuels**.



Illustration n°1 : Illustration de l'aménagement projeté du site

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 (réseaux de chaleur notamment).

Cette étude vient ainsi alimenter 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.

II. Eléments de contexte

Dans le contexte d'une croissance démographique et économique constantes, le développement des énergies renouvelables constitue un enjeu majeur :

- D'une part pour lutte 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.

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. Hier : 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. Aujourd'hui : 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).

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

o **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 des logements et les émissions de gaz à effet de serre pour le bois énergie et les réseaux de chaleur les moins émetteurs de CO2.

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).
- o **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. Demain : la RE2020

Le respect des engagements pris dans la lutte contre le changement climatique, récemment réaffirmés dans la **loi Energie Climat**, suppose que la France atteigne la **neutralité carbone** en 2050. L'un des principaux leviers est d'**agir sur les émissions des bâtiments**, du secteur résidentiel comme du secteur tertiaire, qui représentent un quart des émissions nationales de gaz à effet de serre. La **nouvelle réglementation environnementale** des bâtiments neufs (dite RE2020) est issue de la loi « Evolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique » (ELAN), pour une entrée en vigueur qui devrait intervenir à partir du **1er janvier 2022**.

Les **objectifs** de la RE2020 seront :

- 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 reposera 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.

- **Renforcement de l'indicateur Bbio**

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

- **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.

- **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.

- **Indicateur Ic_{énergie} traduisant l'impact sur le changement climatique**

La réglementation RE2020 conduira 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. Ainsi, la RE2020 conduira à considérer l'analyse du cycle de vie du bâti.

La RE2020 demeure **en cours d'élaboration**, entre expérimentation et concertation. Il n'est pas possible à l'heure actuelle de préciser quels objectifs seront retenus.

Les bâtiments construits dans le cadre de la présente opération seront amenés à devoir respecter la RE2020, dont les exigences ne sont pas encore précisément fixées à l'heure actuelle. Toutefois, en l'absence d'éléments figés à la date de rédaction de cette étude, on prendra également en référence la RT2012 pour apprécier les besoins en énergie du projet.

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 de 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**.

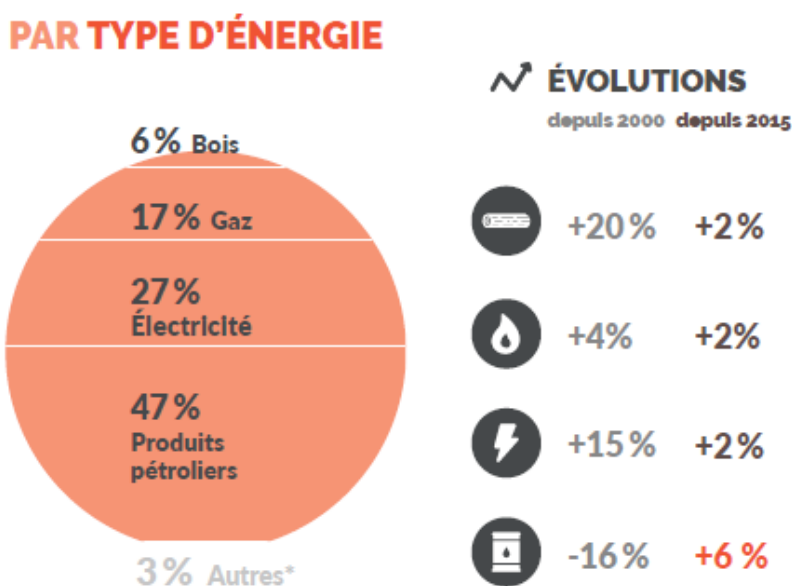


Illustration n°2 : Consommation d'énergie finale par habitant en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)

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).

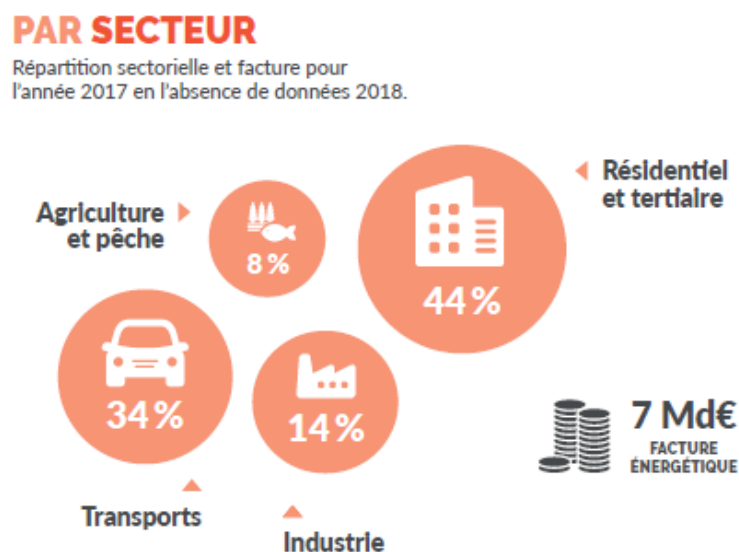


Illustration n°3 : Répartition des consommations par secteurs en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)

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

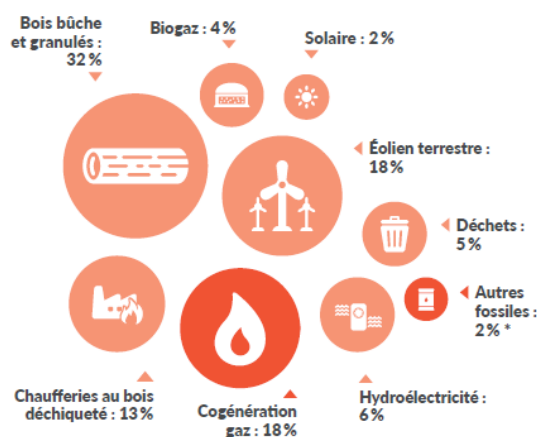


Illustration n°4 : Production d'énergie en Bretagne par filière de production en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)



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)

INSTALLATIONS EN FONCTIONNEMENT

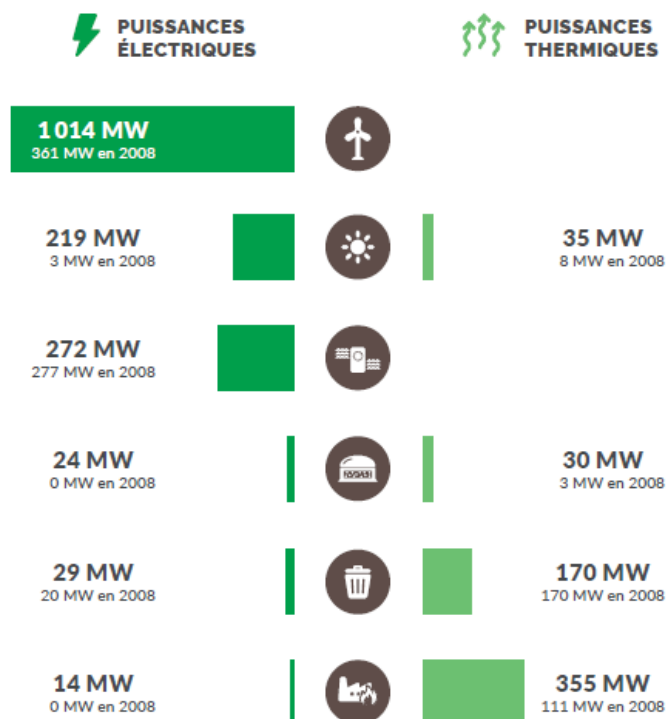


Illustration n°6 : Evolution de la puissance du parc de production d'énergies renouvelables et de récupération en Bretagne en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)

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

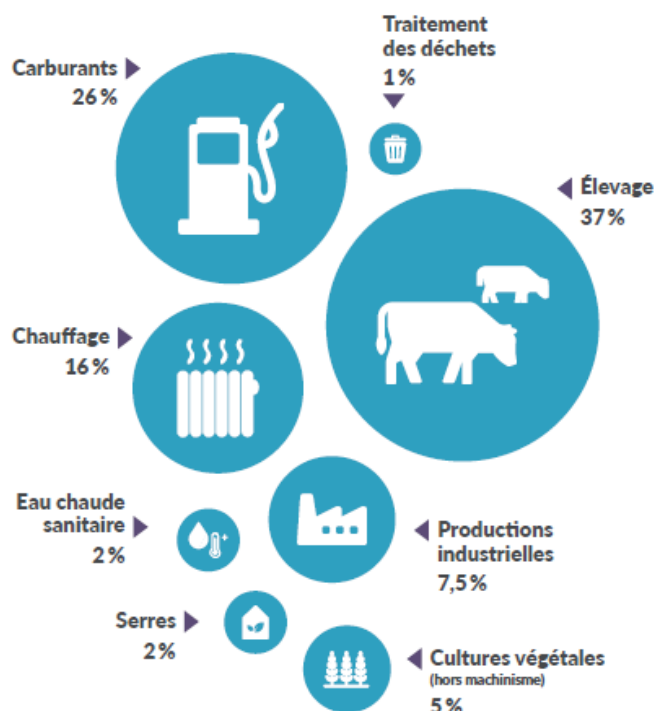


Illustration n°7 : Répartition de émissions de GES par poste en Bretagne en 2018 (source : Mémento des chiffres clés en Bretagne - ANNÉE 2018, Observatoire de l'Environnement en Bretagne)

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 Maîtrise 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 Lorient Agglomération

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.

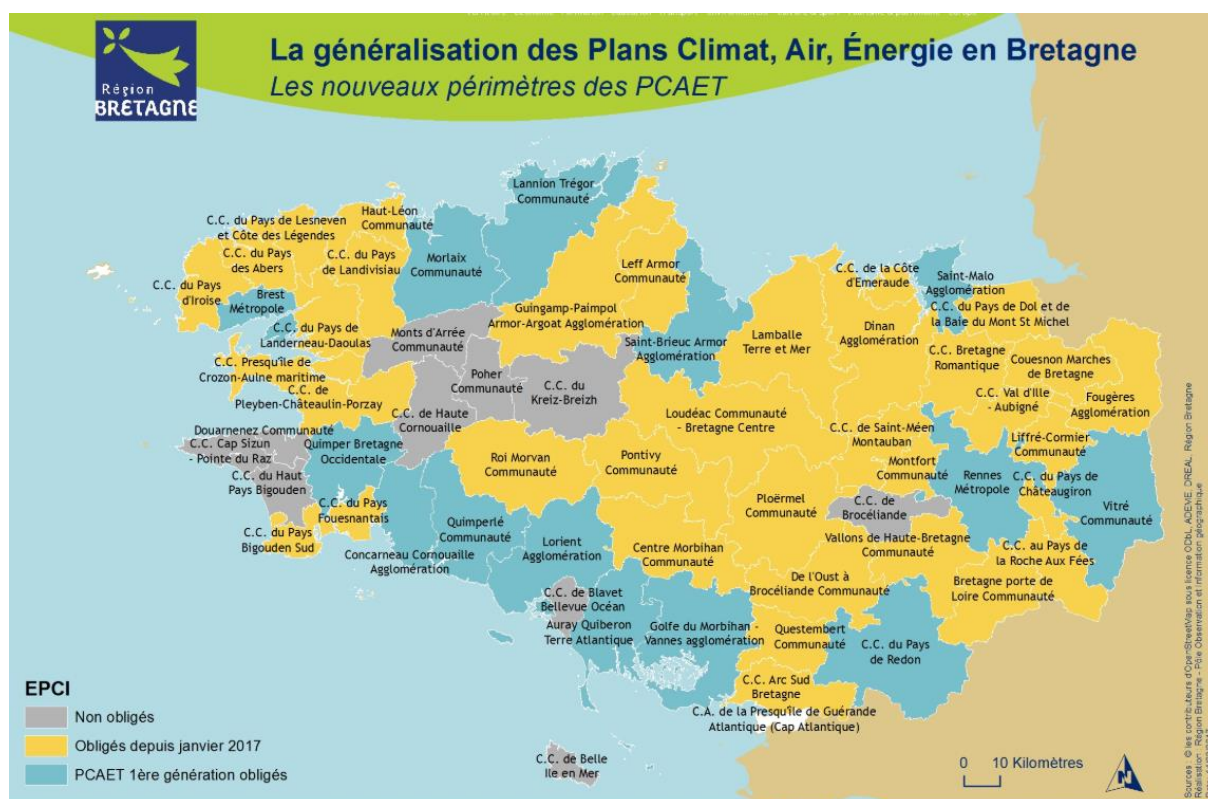


Illustration n°8 : Les nouveaux périmètres des PCAET, situation en 2017 (source : Région Bretagne, 2018)

Le **PCAET** de la communauté d'agglomération **Lorient Agglomération** a été arrêté en Décembre 2019. Ce document dresse un portrait des **enjeux énergétiques du territoire** et définit un **plan d'action** sur la période 2020-2025 en vue d'atteindre, à l'horizon 2050, la division par 4 des émissions de GES par habitant et la réduction de moitié des consommations d'énergie par habitant.

○ **Consommations et production d'énergie**

Il apparaît que la **consommation d'énergie finale** du territoire était de **3 827 GWh/an** en 2015, dont **52% lié au bâti** (résidentiel et tertiaire) et **31% liés aux transports**, avec une forte dépendance aux énergies fossiles (70%). La moitié du parc de logements est considérée comme énergivore, avec une consommation supérieure à 200 kWh/m²/an. L'**autonomie énergétique** du territoire était de **4,2%** (production d'énergie renouvelable, à 94% par le bois), soulignant sa forte 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 vient de la filière **bois énergie** (94%), qui représente **162 GWh/an**. Trois **réseaux de chaleur** sont identifiés sur le territoire de l'agglomération : un à Lorient (450 ml, 6 GWh), un à Lanester (1 700 ml, 5,5 GWh) et un à Hennebont (2,9 GWh pour 730 ml) alimentés à 82% par du bois.

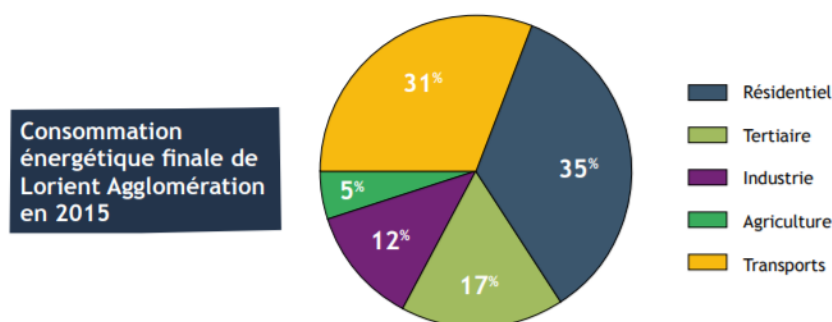


Illustration n°9 : consommations énergétiques sur le territoire de Lorient Agglomération, en énergie finale (Source : plaquette de présentation du PCAET – 2020)

○ Emissions de gaz à effet de serre

Concernant les **émissions de GES**, le territoire émet 922 000 t eq CO₂ chaque année, soit environ **4,5 t eq CO₂/habitant/an** et 3% des émissions régionales.

Les **transports et les bâtiments** (habitat et tertiaire) sont les secteurs les plus émetteurs.

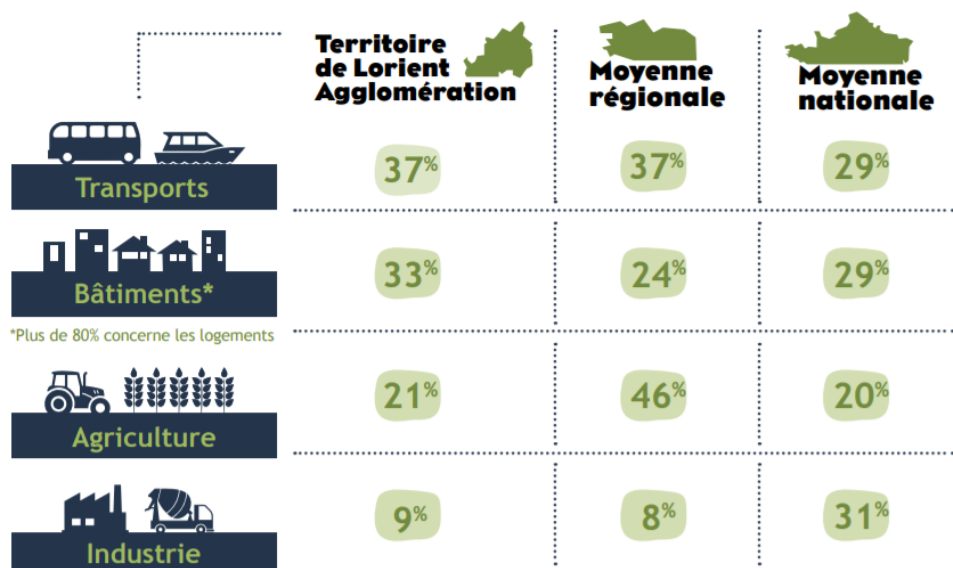


Illustration n°10 : Répartition des émissions de GES au niveau du territoire de Lorient Agglomération, selon les différentes sources, et comparaison avec les répartitions régionales et nationales (Source : plaquette de présentation du PCAET – 2020)

○ Pollution

Le territoire observe une **baisse progressive des émissions de polluants**, à relier essentiellement au durcissement des normes de pollutions pour les véhicules parallèlement au renouvellement progressif du parc automobile. Toutefois, le maintien des émissions d'ammoniac traduit le maintien de l'activité agricole.

Répartition des émissions de Lorient Agglomération en 2016 (en tonnes)

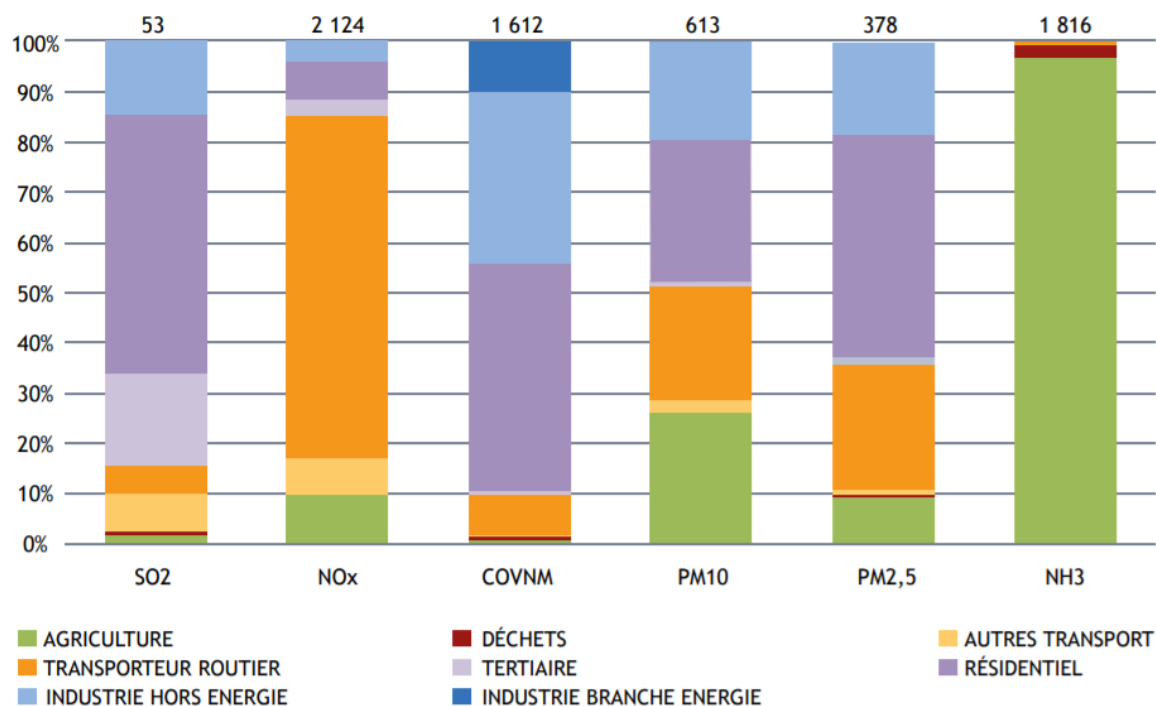


Illustration n°11 : Répartition des émissions du territoire en 2016 par polluant
(Source : plaquette de présentation du PCAET – 2020)

○ Capacité d'absorption du carbone du territoire

A noter que **13% des émissions de GES** du territoire sont **compensées par la captation** de dioxyde de carbone par les forêts du territoire. Le PCAET vise à **doubler cette capacité** de stockage de carbone par une meilleure gestion des forêts, le maintien des boisements et prairies, le recours aux matériaux biosourcés dans le bâti (construction et chauffage), le développement de la nature en ville.

○ Potentiel de réduction des consommations énergétiques

Différents leviers sont identifiés au travers du PCAET pour **réduire les consommations** énergétiques jusqu'à **50% à l'horizon 2050**, pour atteindre **1 914 GWh/an en 2050**. Ceci passe notamment la rénovation énergétique du bâti (3 000 logements par an), la réduction des besoins en déplacements (télétravail), le report modal (vélo, covoiturage), le renouvellement du parc automobile entre autres.

○ Potentiel de développement des énergies renouvelables

Le **potentiel solaire thermique** est estimé à **23 GWh/an**, le **potentiel solaire photovoltaïque** à **729 GWh/an** tandis que le potentiel de développement de la **filière bois énergie** est de **300 GWh/an**. La **méthanisation** dispose d'un par ailleurs potentiel de **60 GWh/an**. La **filière éolienne** dispose d'un potentiel de **24 GWh/an**. Au total, avec un gisement de 580 GWh/an, les énergies renouvelables permettraient ainsi de couvrir **18% des besoins totaux du territoire**.

○ Plan d'action

Le plan d'action du PCAET s'articule autour de 9 orientations subdivisées en 200 actions opérationnelles :

- Axe 1 : Mobiliser tous les acteurs au quotidiens : habitants, scolaires, entreprises
- Axe 2 : Rénover et construire un habitat sain et économe en énergie
- Axe 3 : Réduire l'impact des déplacements
- Axe 4 : Accélérer les transitions à travers l'urbanisme et l'aménagement
- Axe 5 : Renforcer l'exemplarité des collectivités
- Axe 6 : Développer les énergies renouvelables
- Axe 7 : Economiser les ressources
- Axe 8 : Soutenir une agriculture et une alimentation durables
- Axe 9 : S'adapter au changement climatique

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.

III. Présentation du projet

A. Localisation du projet

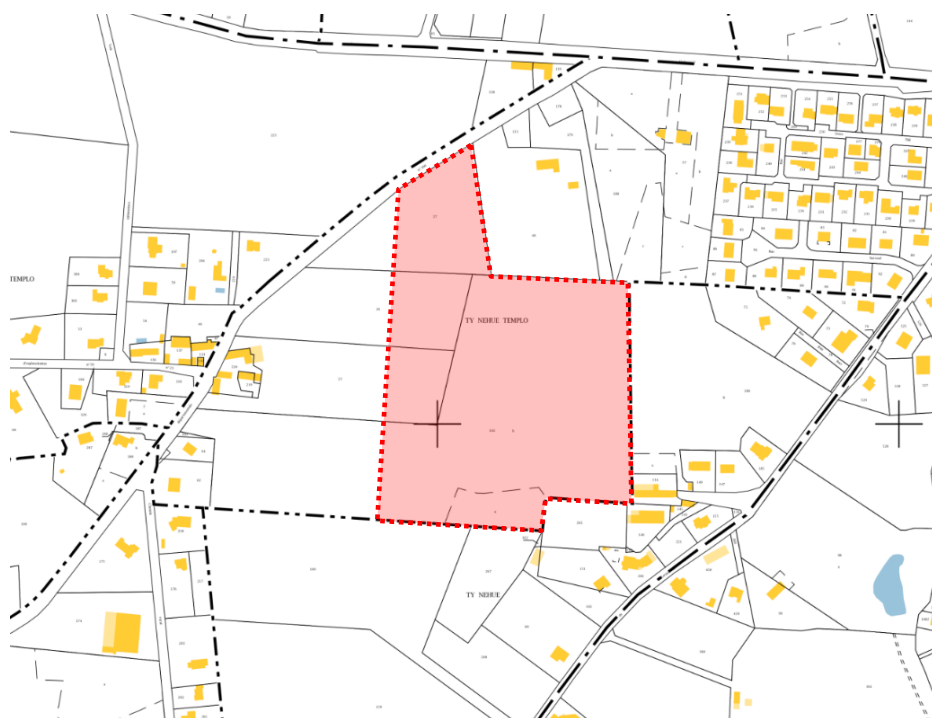
Le projet d'aménagement « **Les Hauts de Ty Nehué** » s'étend en continuité d'urbanisation à l'**Ouest du bourg la commune de PONT-SCORFF**. Le secteur de Ty Nehué est identifié depuis 2011 au travers des Plans Locaux d'Urbanisme successifs comme étant destiné à l'**urbanisation en continuité du tissu urbain** du bourg. Le projet correspond aux 2 premières tranches à aménager sur un secteur qui en compte 4. Le site est aujourd'hui occupé par des terres agricoles exploitées par leur propriétaire en complément de son activité principal.



Illustration n°12 : Localisation du projet au niveau intercommunal (source : IGN, Géoportail)

Le projet concerne les parcelles section ZO n°25p, 26p, 27p et 102p d'une contenance cadastrale de **50 842 m²**. Le site du projet est desservi au Nord par la RD 306 qui permet de rejoindre la RD 26 qui mène :

- Vers l'Est au centre bourg de Pont-Scorff situé à 1,5 km du projet, depuis lequel on peut rejoindre :
 - o Hennebont (10 km à l'est du centre bourg de Pont-Scorff)
 - o Quéven (5,5 km au sud du bourg de Pont-Scorff) et un peu plus au sud (7 km du centre de Pont-Scorff) la RN 165 Quimper-Lorient-Vannes
- Vers l'Ouest Quimperlé (à 10 km du projet)



Section :

ZO

Numéro :

25p, 26p, 27p et
102p

Contenance :

50 842 m²

*Illustration n°13 :
Extrait cadastral de
la commune de
PONT-SCORFF*

B. Topographie

Sans façade maritime, la commune de Pont-Scorff est constituée d'un **plateau peu élevé** (culminant à 73 m NGF), sillonné par les vallons des affluents du Scorff. Sur la commune, l'altitude varie ainsi de 2 m NGF à 73 m NGF au-dessus du niveau de la mer : au Bas-Pont-Scorff, une « falaise » abrupte tombe au pied de la rivière du Scorff, tandis que le Haut-Pont-Scorff est construit sur un plateau sur le sommet de cette falaise.



Illustration n°14 : Topographie du secteur (source : BD TOPO)

Le site étudié est situé sur un **plateau agricole** à l'Ouest du centre-bourg de la commune (terrain naturel allant de 49.50 m NGF au point haut au Nord à 39.00 m NGF au point bas au Sud-Est). Le site présente des **pent**es assez prononcées convergeant vers le Sud-Est (1,5 à 5,8%) en un unique point bas.

A noter l'interception par le projet d'un **bassin versant amont** essentiellement constitué des **parcelles cultivées** s'étendant à l'Ouest du site (environ 1,6 ha).



Illustration n°15 : Topographie à l'échelle du site (source : BD TOPO)

C. Eléments paysagers

Le site du projet est occupé par des **parcelles agricoles ouvertes** aujourd'hui destinées à la culture de colza, localisées en lisière de tâches urbaines. Le site est bordé en sa **lisière Est** par une **haie rurale dense à hauts-fûts**. En lisière Nord-Est s'étend un boisement de résineux. Un bosquet de feuillus est localisé en lisière Sud du projet.

A **proximité immédiate** du site, nous trouvons :

- Au **Nord**, la **RD 306** qui débouche sur la **RD 26**, la départementale qui traverse Pont-Scorff d'Est en Ouest. Elle dessert le centre-ville et tous ces équipements.
- A l'**Est**, le **village de Ty Nehué** qui marque actuellement la limite d'urbanisation du bourg de Pont-Scorff.
- L'**Ouest** s'ouvre sur des **parcelles agricoles** donnant sur le village du Templo.
- Le **Sud** est marqué par la présence de **prairies et cultures** classées à urbaniser (secteurs 3 et 4 de la zone 1AUa aménagée dans le cadre de ce présent projet) au PLU en vigueur.



Illustration n°16 : Occupation des sols en l'état actuel

D. Schéma d'aménagement étudié

Le périmètre du projet s'étend sur **5,08 ha** correspondant aux **tranches 1 et 2 de l'OAP sectorielle** du PLU. Il couvre pour l'essentiel des terres aujourd'hui cultivées.

La trame d'aménagement du site reprend les grands axes fixés au travers de l'**OAP sectorielle** de Ty Nehue inscrite au PLU de 2017, à savoir :

- Un aménagement en **plusieurs tranches** permettant de rythmer la production de logements sur les prochaines années ;
- La création d'une **trame viaire structurante** favorisant les liaisons douces, se raccordant sur la RD306 au Nord du projet et pouvant être poursuivie pour permettre l'aménagement à terme des tranches 3 et 4 ;
- Le **maintien des éléments du paysage** favorisant la biodiversité : boisement en partie Sud du secteur 2, haies en lisière Est du site ;
- Le **confortement des trames arborées** parcourant et bordant le site en vue de restituer un cadre paysager agréable, de restaurer une trame de nature en ville et de marquer la frange d'urbanisation pour permettre une transition avec les espaces agricoles ouverts

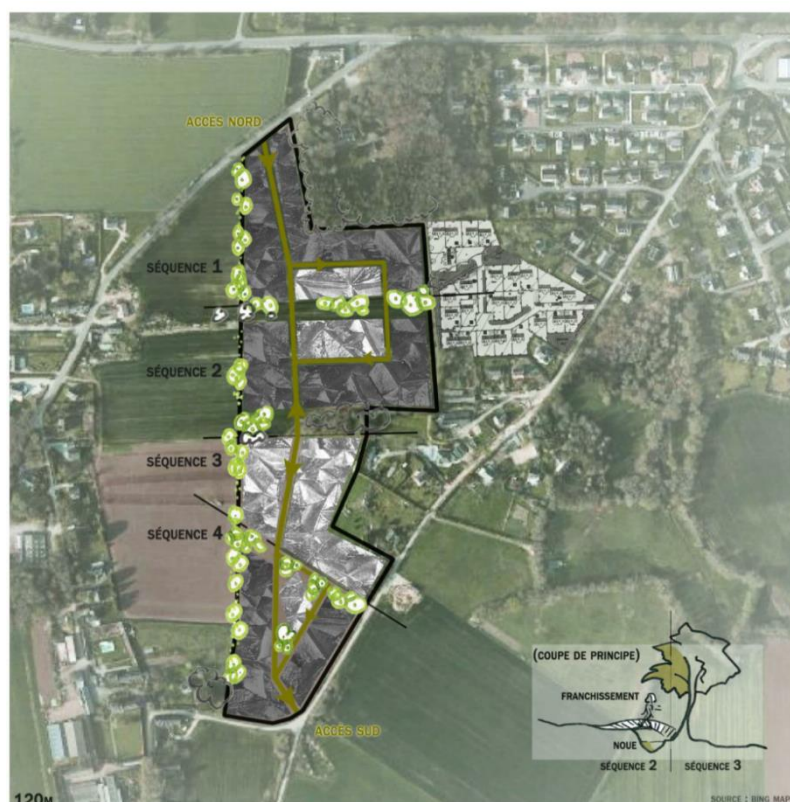


Illustration n°17 : OAP sectorielle issue du PLU de 2018 (source : PLU)

Le site très vaste fera l'objet d'un découpage en 4 séquences donnant une échelle humaine aux projets. Les objectifs de construction de logements seront déclinables par séquence.

Des formes d'habitat plus denses pourront être privilégiées en cœur d'îlots, les franges du site favorisant la création de lots individuels, dans le respect des objectifs prévus par le PLH. Des jardins au sud seront à privilégier compte tenu de la topographie du site.



Une trame verte en continuité des bosquets existants aux abords du site (en noir) découpera les séquences sous la forme de chemins arborés ayant vocation à permettre des franchissements piétons et cycles d'une séquence à l'autre ; ces frontières arborées permettront des ruptures de perspectives entre le nord et le sud et contribueront de l'échelle humaine des lotissements. Pour prévenir le ruissellement des eaux de pluie du nord au sud avec le dénivelé, cette trame verte séparant les séquences sera doublée de noues bocagères le long des arbres, (coupe).



La limite ouest avec les terres agricoles sera plantée elle-aussi.

Une voie principale à double sens accessible à la fois par le nord et le sud du site sera la seule voie automobile permettant d'entrer et de sortir des séquences aménagées ; au sein de chaque séquence cette desserte principale sera doublée de ramifications ou de dérivations en boucle à sens unique.

E. Programmation

Le projet prévoit la création de **127 logements** sur les 4,86 ha que couvrent les tranches 1 et 2 (hors marges de recul inconstructible de la RD306), soit une densité de **26 logements/ha**, conformément aux objectifs de l'OAP.

La typologie de logements se répartit de la façon suivante :

- **30 logements collectifs** se répartissant sur **2 îlots** A et B ;
- **8 logements intermédiaires** ;
- **89 logements individuels sur lots libres**.

Par ailleurs, la société AF OUEST a fait le choix de diversifier les moyens d'accès au logement en vue de répondre aux attentes de différents publics :

- **30 logements locatifs sociaux de type T2 à T4** (10 sur l'îlot A, 20 sur l'îlot B) ;
- **8 logements en accession sociale** sur l'îlot A ;
- **17 lots libres abordables** ;
- **72 lots libres**.

Le tableau suivant synthétise les **hypothèses de programmation** retenue dans le cadre de la présente étude.

Typologie	Nombre	Ratio	SP moyenne estimée (m ²)	SHON _{RT} moyenne estimée (m ²)	SHON _{RT} totale estimée (m ²)
Logements collectifs	30	24%	65	58,5	1 755
Logements intermédiaires	8	6%	80	72	576
Lots libres	89	70%	140	126	11 214
Total	127	100%	/	/	13 545

Remarque :

La présente étude est basée sur l'application des **ratios de consommation énergétique** issus du calcul réglementaire de la **RT2012**. La **SHON_{RT}** (Surface Hors Cœuvre Nette) tient ainsi lieu de **référence** car elle est proche de la surface du volume chauffé d'une habitation.

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.

Pour les logements, on peut considérer que la **SHON_{RT}** correspond à **90% de la SP**.



Illustration n°18 : Illustration du plan masse du projet

F. 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. La prise en compte de ces enjeux demeure toutefois une priorité pour le porteur de projet.

IV. Sources d'énergie mobilisables sur le site

A. 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 **fioul**, au travers de cuves enterrées ;
- Le **gaz propane**, au travers de citernes.

Le site n'est **pas directement desservi par le gaz naturel** : la desserte du site nécessiterait de mettre en place une **servitude** sur les parcelles riveraines à l'Est pour se connecter au réseau route de Ty Nehué. Cette énergie est quand même considérée.

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.

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 dans le cadre de la création de nouveaux logements.

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 bourg de la commune de Pont-Scorff est desservi par le gaz naturel. Ainsi, la desserte du site du projet est envisageable via une servitude.

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. La desserte du site serait toutefois conditionnée par la recherche d'une servitude sur les parcelles riveraines pour se connecter au réseau rue de Ty Nehué, à l'Est de l'opération, ou l'extension du réseau existant sur 400 m pour permettre la desserte du site via la RD26 puis la RD306. Il a été demandé à GRDF d'étudier la faisabilité de cette solution.

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 pouvant éventuellement être 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.

B. Energies renouvelables

Plusieurs sources d'énergies renouvelables sont mobilisables sur le territoire de la commune de Pont-Scorff 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.

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 adaptée aux usages sur le site.

La filière biogaz est envisageable par la mise en œuvre d'une unité de cogénération (chaleur et électricité) à l'échelle du quartier.

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 est envisageable sur site. 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.

V. Etude 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 1 400 kWh/m²/an.

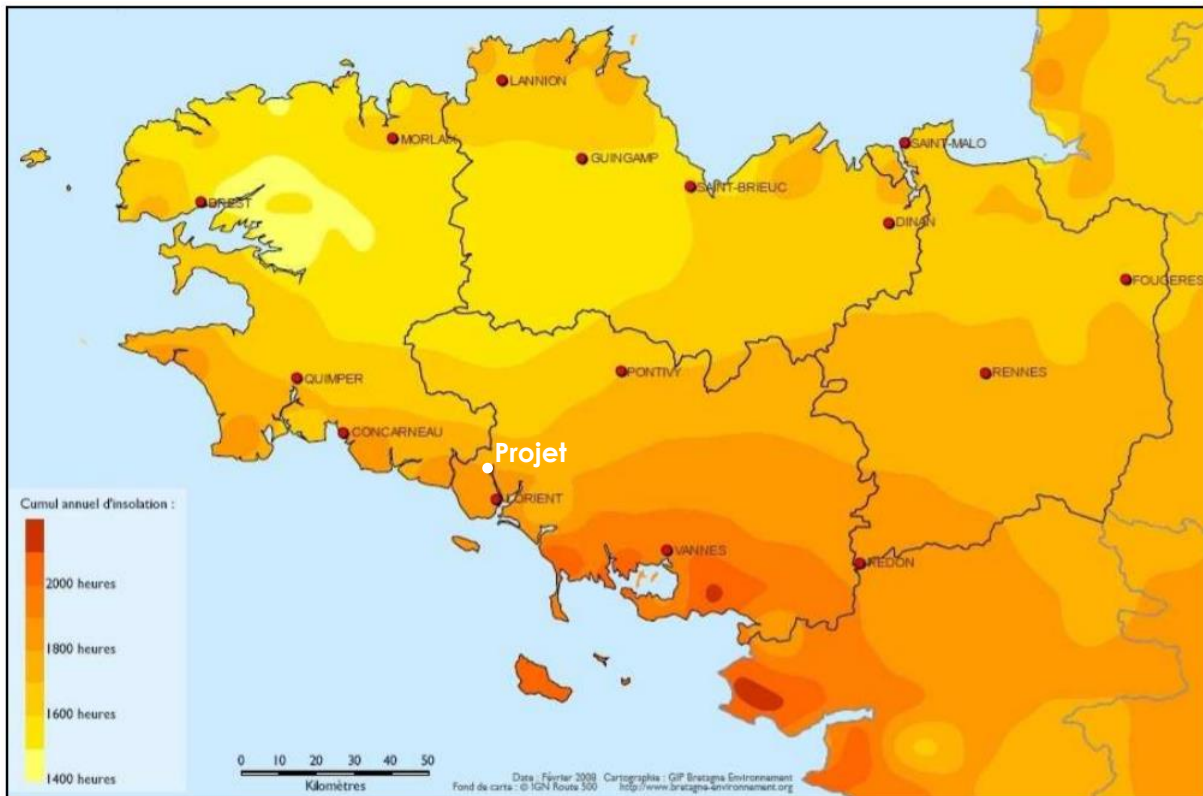


Illustration n°19 : Insolation annuelle en Bretagne – Moyenne sur la période 1997-2006 (source : Bretagne Environnement)

L'**insolation annuelle** sur le territoire de la commune de Pont-Scorff est comprise **entre 1 700 et 1 900 heures**. L'énergie reçue est d'environ **1 300 kWh/m²/an**.

A noter que l'agglomération Lorient Agglo est en cours de réalisation d'un **cadastre solaire**. Cette étude permettra d'**affiner le potentiel** de cette ressource énergétique dans le cadre des projets d'aménagement.

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

Les **pent**es sur le site du projet sont globalement **orientées vers le Sud**. Les **ombres portées**, notamment de la **haie en lisière Sud** mais également des **bâtiments**, 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

○ 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** d'essences à feuilles caduques pour profiter de l'effet d'ombre en été et du soleil en hiver.

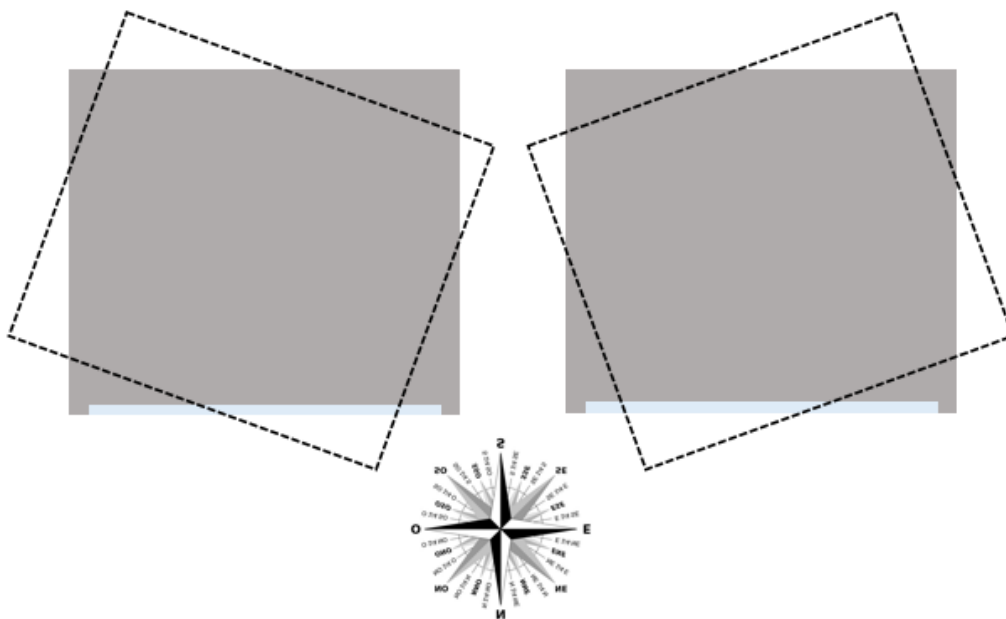


Illustration n°20 : Orientation optimale des façades principales : SUD $\pm 20^\circ$

○ Permettre le développement du solaire thermique

La mise en place de **capteurs solaires thermiques** peut être envisagée sur les bâtiments de logements collectifs comme sur les habitations individuelles.

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 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 bâtiments 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°21 : 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.

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°22 : 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 Lorient –Lann Bihoué.

On observe fréquemment des **vents de provenance d'Ouest à Sud-Ouest** (vitesse régulièrement supérieure à 8 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** (vitesse ne dépassant pas 8 m/s) qui engendrent le début d'une influence continentale avec présence d'accidents climatiques épisodiques (gels).

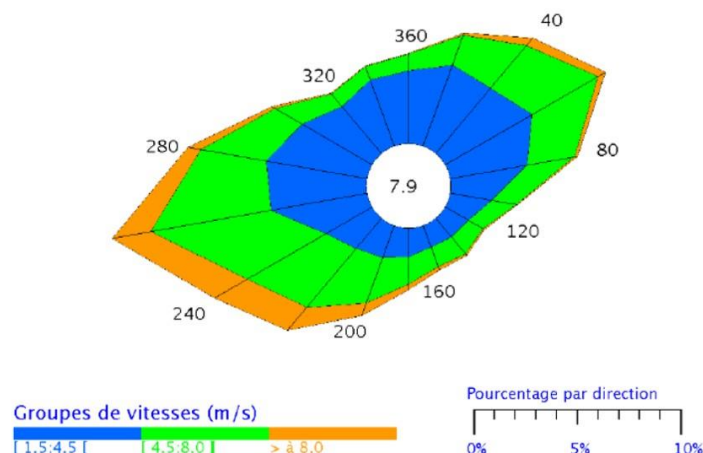


Illustration n°23 : Rose des vents de la station Lorient-Lann Bihoué pour la période 1991-2010 (source : Météo-France)

b) Situation du projet

Le site du projet se trouve localisé sur un **point haut** de la commune de Pont-Scorff. La topographie alentour est marquée par des **pent**es plus ou moins prononcées convergeant **vers le Sud-Est**. Le bâti en lisière Est est inférieur à 9 m de hauteur. A noter toutefois l'existence de **haies de feuillus** d'une quinzaine de mètres de hauteur en **lisières Sud et Est**.

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. Dès lors, **il n'est pas envisageable d'exploiter le grand éolien sur site**.



Illustration n°24 : 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.

Si un emplacement devait être défini pour la mise en œuvre d'un équipement éolien, il s'agirait d'un **point haut dégagé**, comme les **abords de la RD306** au Nord du site.

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 lisière de la tâche urbaine, sur une commune couverte par une Aire de Valorisation de l'Architecture et du Patrimoine (AVAP) et dont le bourg proche est partiellement localisé en site inscrit. Les éventuelles **nuisances**, notamment **sonores**, sont également à considérer.



Illustration n°25 : 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, de la commune et de la vallée du Scorff en général 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 Pont-Scorff, 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 de Pont-Scorff apparaît éligible à la **Géothermie de Minime Importance** (GMI) sur la carte des zones réglementaires.

A titre d'information, le **PCAET de Lorient Agglo** évalue le **potentiel géothermique** du territoire à **28 GWh**, soit moins de 1% des consommations énergétiques du territoire. L'exploitation de ce potentiel peut être assurée par la mise en place d'installations de sondes couplées pour des maisons individuelles.

Toutefois, 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 logements mis en œuvre doivent disposer d'un **circuit hydraulique en régime basse température** (plancher chauffant, radiateurs 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 (environ 30 000 € HT par doublet) ;
- La **maintenance** des équipements demeure **contraignante** ;
- L'incidence en terme 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 le **porteur de projet** en lui-même, 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**.

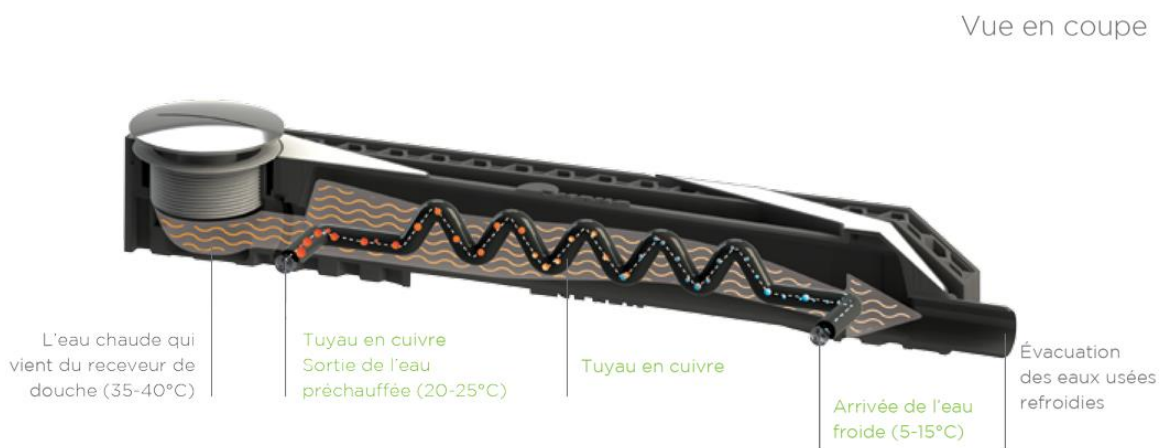


Illustration n°26 : Principes de fonctionnement d'un récupérateur de chaleur d'eaux de douches (source : ZYPHO)

2. Gisement

La commune de Pont-Scorff dispose d'une **station d'épuration** de type boues activées située au lieu-dit Saint Urchaud, à **2 km en aval** du site du projet. Cette station d'épuration dispose d'une capacité totale de traitement de **5 400 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 d'habitants.

La récupération de l'énergie par **récupération de chaleur sur l'eau des douches** 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'un quartier d'habitation**, si un **réseau de chaleur** est mis en œuvre en parallèle pour distribuer l'énergie dans les logements.

Toutefois, la mise en œuvre d'une telle solution suggère la mise en œuvre préalable d'une **filière 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 quartier ou même simultanément.

Il existe plusieurs **unités de méthanisation** en Bretagne, mais **trop éloignées** de la ville de Pont-Scorff pour envisager l'exploitation de cette filière dans le présent projet d'aménagement.

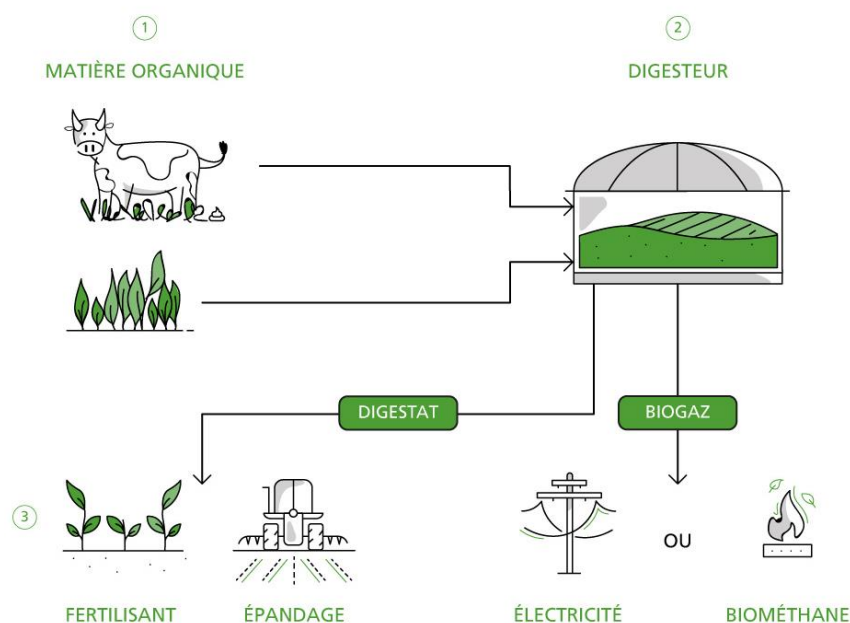


Illustration n°27 : Principe de la méthanisation (source : EDF)

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 individuels.

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

2. Bois déchiqueté ou plaquettes

Différentes plateformes d'approvisionnement en **bois déchiqueté** proches de la commune de Pont-Scorff sont envisageables pour alimenter le site du projet. Il est en effet envisageable de se rapprocher du **réseau de partenaires** de Lorient Agglomération sollicité pour l'alimentation des réseaux de chaleurs de Lorient et Lanester. A noter le projet de création d'une Société Publique Locale de production de plaquettes sur la commune de Quéven.

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 a-t-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.

L'exploitation de **granulés de bois** pour le chauffage apparaît pertinente pour l'**habitat individuel** comme pour l'**habitat collectif**. A noter toutefois 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°28 : 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 d'habitation et des caractéristiques des logements projetés.

L'énergie solaire, tant passive qu'active, la cloacothermie et la filière bois 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 (notamment pour les collectifs) 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 (notamment pour les collectifs) et brises-soleil via une étude de faisabilité technico-économique spécifique pour chaque bâtiment. Etudier la mise en œuvre d'ombrières sur les stationnements des logements individuels et collectifs.
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		
En pied d'immeuble	+++	Nécessité de bâtiments collectifs de tailles significatives pour assurer la faisabilité technico-économique. Production collective d'ECS. Nécessaire évacuation séparée des eaux grises et des eaux vannes.
En station d'épuration	-	Station d'épuration trop éloignée pour permettre une valorisation directement sur site.
Echangeurs de chaleur sur l'eau des douches	+++	Nécessaire évacuation dissociée des eaux grises et des eaux vannes.
BIOGAZ		
Cogénération	-	Pas d'installation de production à proximité du site.
BOIS		
Granulés	+++	Prévoir des emplacements de stockage à proximité des équipements de chauffage. Prévoir un approvisionnement régulier.
Plaquettes	+++	Prévoir des emplacements de stockage à proximité des équipements de chauffage. Prévoir un approvisionnement régulier.
Bois bûche	+	Seulement exploitable en appoint sur les logements individuels équipés d'un foyer ou d'un poêle. Prévoir un approvisionnement régulier. Besoin de manipulation.
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 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	Extension du réseau à prévoir sur site par servitude à négocier 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	Insertion paysagère 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) Habitat individuel : Facilité d'installation dans l'habitat individuel Appoint intéressant en hiver Habitat collectif : Installation possible en collectif (chaudières collectives)	Structuration de la filière à optimiser au niveau régional. Nécessité de contrôler la qualité du combustible pour limiter les émissions de GES. Habitat individuel : Contraintes de maintenance et d'approvisionnement si utilisé en énergie de chauffage principal Habitat collectif : Opportunité technico-économique à étudier pour les collectifs (création de réseaux, phasage du projet pour répartir les coûts d'entretien) 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 sur les collectifs) 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

Formes d'énergie	Atouts/avantages	Contraintes/inconvénients
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, meilleure 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 Pas adapté à des projets de logements individuels
Cloacothermie	Energie de récupération, optimisant la performance énergétique des systèmes production d'ECS Ressource disponible toute l'année Simplicité de mise en œuvre et fiabilité	Contraintes d'implantation (débits d'eaux usées minimums, diamètre de collecteur minimum) Fourniture de chaleur simultanément à la demande seulement

(*) La PAC aérothermique est injustement assimilée au travers de la RT2012 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.

VI. Phase 1 : évaluation de la consommation énergétique du projet

La première étape consiste à estimer les consommations énergétiques du quartier 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. 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 (électroménager, informatique, audio-vidéo, etc.) ;
- Cuisson des aliments ;
- 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.

1. Consommation énergétique liée au chauffage

La consommation énergétique du bâti lié au **chauffage** sera fortement dépendante :

- De la **surface du logement** (SHON_{RT} ici retenue, conformément à la réglementation) ;
- De la **performance énergétique** du logement.

Nous prendrons en **références** les consommations énergétiques associées au standard actuel **RT2012. A défaut de connaître le contenu précis de la RE2020 amenée à entrer en vigueur en Janvier 2022, nous tiendrons compte des retours d'expérience sur l'habitat passif pour présager de cette nouvelle réglementation.**

Les observations effectuées par le bureau d'études Enertech sur des projets récents tendent à estimer ces consommations en énergie finale pour le chauffage, tant pour les logements collectifs, semi-collectifs qu'individuels, **à 17 kWh_{EF}/m²/an sur l'habitat passif et à 32 kWh_{EF}/m²/an pour les bâtiments suivant la norme RT2012.**

2. Consommation énergétique liée à la production d'ECS

La production d'eau chaude sanitaire est un poste important de consommation énergétique des logements.

Les observations effectuées par le bureau d'études Enertech sur des projets récents tendent à estimer ces consommations en énergie finale pour la production d'ECS, tant pour les logements collectifs, semi-collectifs qu'individuels, à **13,5 kWh_{EF}/m²/an sur l'habitat passif** et à **18 kWh_{EF}/m²/an pour les bâtiments suivant la norme RT2012**.

3. Consommation énergétique liée à l'électricité technique

L'électricité technique des bâtiments est essentiellement liée au fonctionnement de la l'éclairage, mais également à la ventilation, aux circulateurs d'air.

Les observations effectuées par le bureau d'études Enertech sur des projets récents tendent à estimer ces consommations en énergie finale pour l'électricité technique, tant pour les logements collectifs, semi-collectifs qu'individuels, à **8 kWh_{EF}/m²/an sur l'habitat passif** et à **9 kWh_{EF}/m²/an pour les bâtiments suivant la norme RT2012**.

4. Consommation énergétique liée à l'électricité des parties communes

La réglementation thermique (RT2012) n'intègre pas à l'heure actuelle les consommations d'énergie liées aux parties communes des immeubles collectifs, telles que l'éclairage des parkings souterrains, les ascenseurs.

Les diagnostics réalisés par Enertech montrent une consommation moyenne d'environ **13 kWh/m²/an/logement sur les collectifs**.

5. Consommation énergétique liée à l'électricité domestique et à la cuisson des aliments

La réglementation thermique (RT2012) n'intègre pas à l'heure actuelle les consommations d'énergie domestique ni la cuisson des aliments. Toutefois, ces postes constituent une part importante de la consommation énergétique des ménages, pouvant aller jusqu'à 40% des consommations totales sur un bâtiment très performant.

L'**association Négawatt** a estimé les **consommations électrodomestiques** pour un ménage moyen en 2010 à **3 000 kWh/an**. Les différents postes sont représentés sur le graphique suivant.

Dans un souci d'exhaustivité, la présente étude intégrera les usages électrodomestiques (lave-linge, sèche-linge, lave-vaisselle, réfrigérateur, congélateur, éclairage, audio-vidéo, informatique, télécommunications, circulateurs, ventilation, nettoyage, bricolage) ainsi que la **cuisson des aliments** dans le calcul des consommations énergétiques.

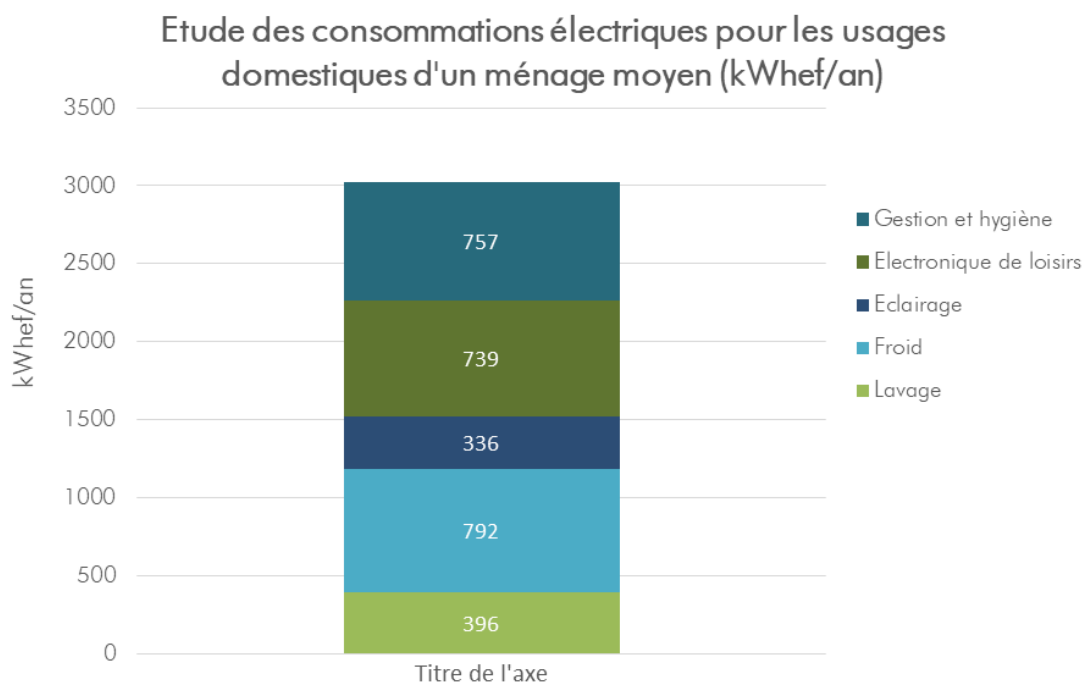


Illustration n°29 : Etude des consommations électriques pour les usages domestiques d'un ménage moyen en 2010 (source: Negawatt)

Les observations effectuées par le bureau d'études Enertech sur des projets récents tendent à estimer ces consommations en énergie finale liées à l'**électricité domestique**, tant pour les logements collectifs, semi-collectifs qu'individuels, à **20 kWh_{ef}/m²/an sur l'habitat passif** et à **25 kWh_{ef}/m²/an pour les bâtiments suivant la norme RT2012**.

Selon ces mêmes observations, les consommations en énergie finale liées à la **cuisson des aliments** sont estimées à **540 kWh_{ef}/an en moyenne** quel que soit le logement et sa performance énergétique.

6. Synthèse des consommations énergétiques attendues en fonction de la typologie de logement et de la performance énergétique du bâti

Le tableau suivant établit une synthèse des consommations énergétiques prévisionnelles liées à la typologie de logement et à la performance énergétique dans le cadre du projet.

Typologie de logements	Logements collectifs		Logements intermédiaires		Lots libres	
SHON _{RT} considérée	58,5 m ²		72 m ²		126 m ²	
Consommations prévisionnelles en énergie finale (kWh _{ef} /an)	BBC/ RT2012	Habitat passif/ RE2020	BBC/ RT2012	Habitat passif/ RE2020	BBC/ RT2012	Habitat passif/ RE2020
Chauffage	1 872	995	2 304	1 224	4 032	2 142
ECS	1 053	790	1 296	972	2 268	1 701
Electricité technique	527	468	648	576	1 134	1 008
Electricité domestique	1 463	1 170	1 800	1 440	3 150	2 520
Cuisson	540	540	540	540	540	540
Consommation totale (kWh_{ef}/an)	5 454	3 962	6 588	4 752	11 124	7 911

Illustration n°30 : Tableau des consommations énergétiques en fonction de la performance énergétique, en fonction de la typologie du bâti

Le tableau suivant représente les consommations énergétiques finales par usage en fonction de la typologie de logement et de la performance énergétique du bâti attendue sur site.

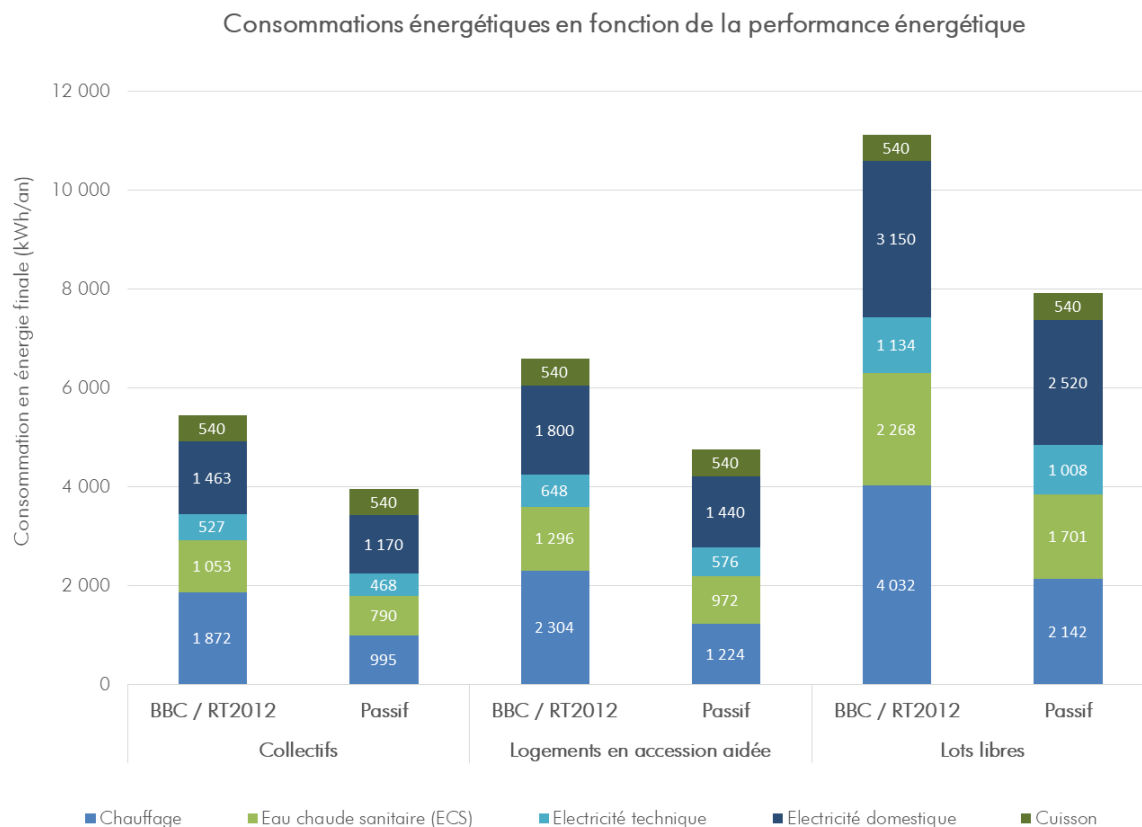


Illustration n°31 : Graphique des consommations énergétiques en fonction de la performance énergétique, en fonction de la typologie du bâti

L'analyse de ces données permet plusieurs constats :

- **Le logement individuel est bien plus consommateur d'énergie** que le logement collectif ou semi-collectif.
- **Les économies d'énergie réalisées entre la RT2012 et l'habitat passif** (à défaut de retours d'expériences sur la RE2020) résultent de la diminution des consommations d'énergie pour le **chauffage, l'ECS et les équipements électrodomestiques** ;
- **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.**

7. Synthèse des consommations énergétiques du bâti attendues à l'échelle du site

La **consommation énergétique totale du bâti** peut être estimée à l'échelle de l'opération à partir de la **typologie de logement projetée** et des **hypothèses de consommation** développées précédemment.

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

Typologie	Nombre	Ratio	SP moyenne estimée (m²)	SHON _{RT} moyenne estimée (m²)	SHON _{RT} totale estimée (m²)
Logements collectifs	30	24%	65	58,5	1 755
Logements intermédiaires	8	6%	80	72	576
Lots libres	89	70%	140	126	11 214
Total	127	100%	/	/	13 545

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.

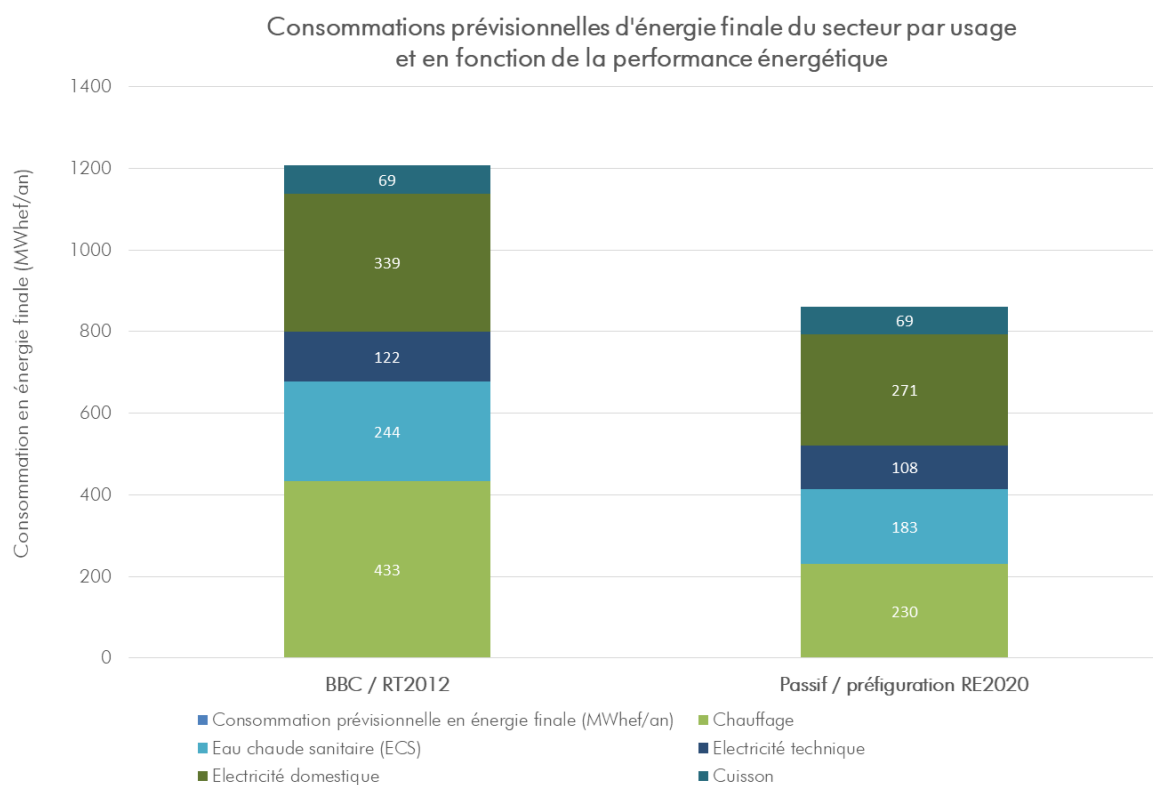


Illustration n°32 : Consommation en énergie finale de l'ensemble du bâti de l'opération en fonction de la performance énergétique

Ainsi, la **consommation énergétique totale** attendue sur site pour la partie **logement** serait estimée à **environ 861 MWh/an** si la RE2020 s'approchait de l'habitat passif. **Le niveau RE2020/passif permet ainsi de réduire de 29% les consommations d'énergie par rapport à la RT2012** de par une réduction des besoins en chauffage, en ECS, en électricité technique et en électricité domestique.

Selon les retours d'expérience sur l'habitat passif en préfiguration de la RE2020, les **besoins en énergie** du bâti du projet se répartiront ainsi :

- environ **47% d'énergie thermique** (chauffage, ECS) ;
- environ **53% d'énergie électrique**.

A noter que dans le cas où les porteurs de projets et propriétaires souhaiteraient fixer un niveau de performance énergétique plus exigeant que la réglementation, il conviendrait de prendre en référence :

- Soit le **niveau de performance Passivhaus** allemand, avec une éventuelle labellisation ;
- Soit le **niveau de performance Minergie** suisse, avec une éventuelle labellisation.

Fixer un niveau de performance plus exigeant impliquerait par ailleurs :

- De définir une **méthodologie de justification des performances** atteintes ;
- De définir le type de **calcul thermique** à exiger.

Il est par ailleurs possible pour les aménageurs, dans le cadre d'un éventuel phasage de l'opération, d'envisager dans le cadre du **cahier des prescriptions environnementales** du projet une **progressivité de la performance énergétique** fonction du phasage.

B. 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 **économes 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**.



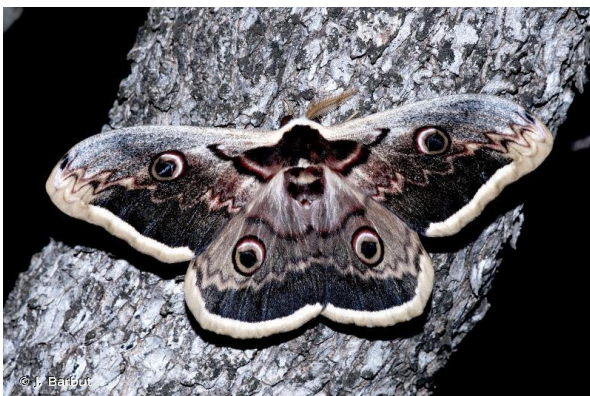
Depuis une cinquantaine d'années, le **Petit rhinolophe** (*Rhinolophus hipposideros*) a connu un très fort déclin (tombant à moins de 1% des populations). Des études récentes montrent que l'éclairage réduit son activité de manière spectaculaire, retarde le développement des jeunes et pouvait même parfois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

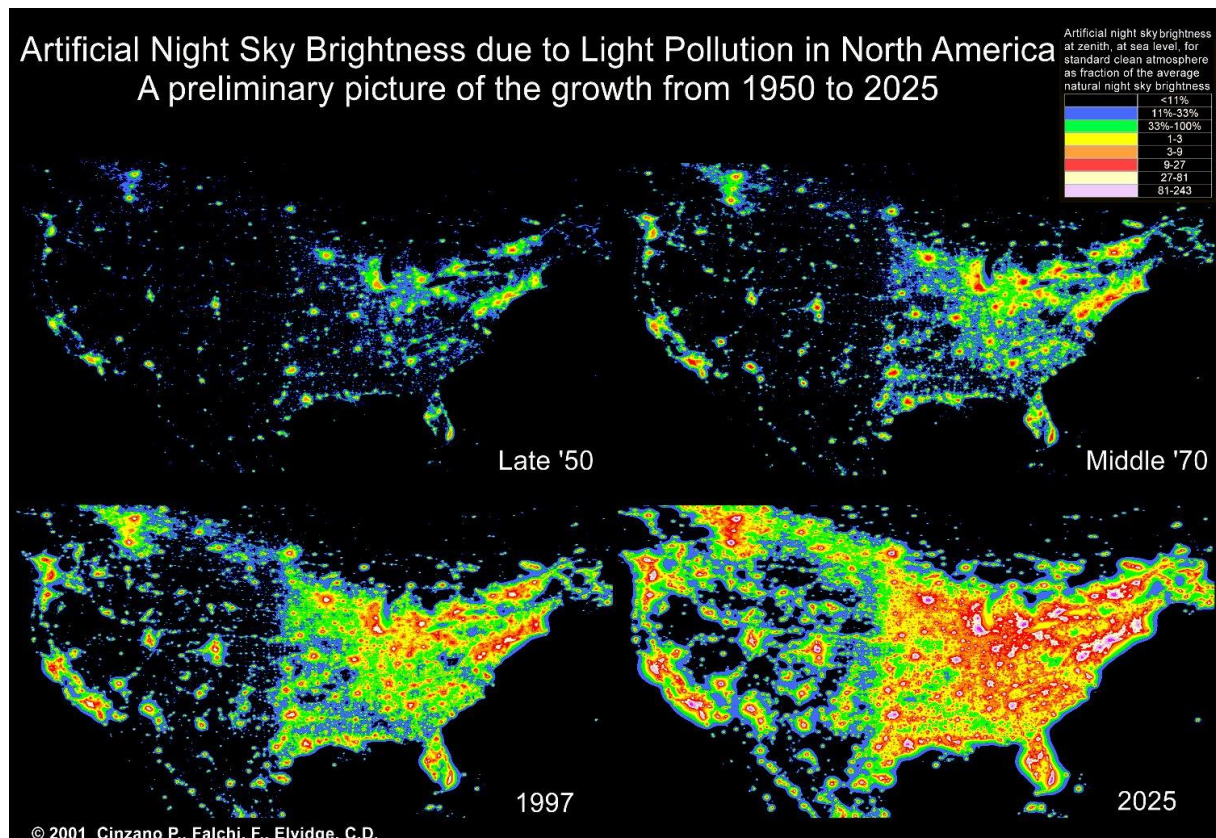


Illustration n°33 : Estimation de l'évolution de la pollution lumineuse en Amérique du Nord entre 1950 et 2025 (source : Cinzano, Falchi, Elvidge, 2001).

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 apparaît 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 :

- **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**) ;
- 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 :
 - Préférentiellement, des lampes de type **LED** permettant une bonne efficacité lumineuse couplée à une excellente durée de vie ;
 - A défaut, des **lampes à vapeur de sodium Haute Pression** présentant une très bonne efficacité lumineuse et émettant une lumière monochromatique ;
 - 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.

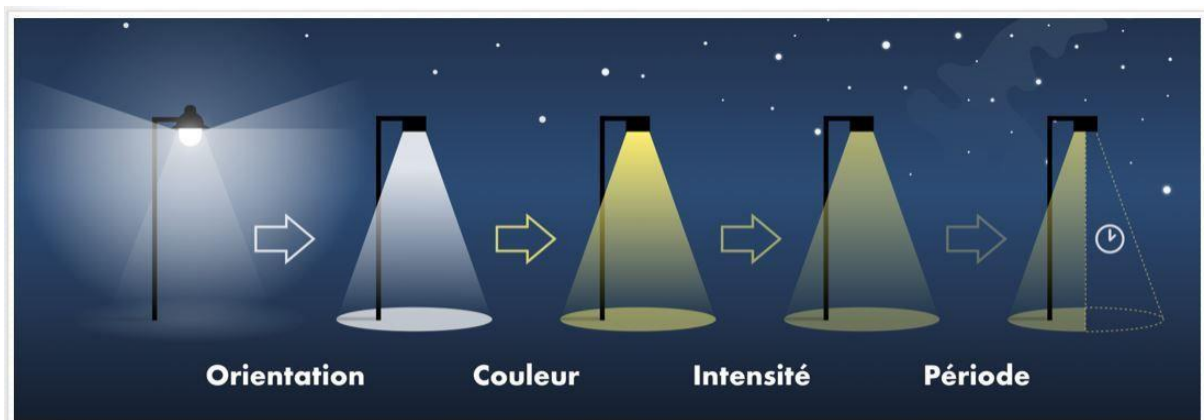


Illustration n°34 : Vers un meilleur éclairage des espaces publics (Source : RICEMM.org)

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 **équipements de base** ;
- un **second scénario** avec des **dispositifs LED**.

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

		Equipement de base	Systèmes LED
Linéaire de réseaux d'éclairage en ml	Voir principale	730	730
	Voie secondaire	150	150
	Total	880	880
Consommations estimées en kWh _{ef}	Voir principale	9 636	3 504
	Voie secondaire	990	585
	Total	10 626	4 089
Emissions de CO2 (tCO2/an)	Voir principale	0,96	0,35
	Voie secondaire	0,10	0,06
	Total	1,06	0,41

Illustration n°35 : Comparaison des scénarios d'éclairage public

Pour un linéaire total de **880 m de voiries éclairées**, il est possible d'estimer la consommation prévisionnelle en énergie finale de **10 626 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 4 089 kWh_{ef}/an, soit une **réduction de près de 62%** des consommations énergétiques. Les **coûts énergétiques** pour la collectivité sont **réduits** dans des proportions comparables de **1 681 € TTC/an à 647 € TTC/an** pour le linéaire considéré.

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**.

C. Transports

Les **dépenses énergétiques** liées aux transports motorisés, si elles ne sont pas en elles-mêmes dépendantes des choix des porteurs de projet mais d'avantages des **habitudes des particuliers**, ont également un **impact sur l'effet de serre**. Dès lors, dans un souci d'exhaustivité, il convient de les évaluer.

La **localisation du projet** par rapport aux zones d'activités, aux équipements publics, aux zones commerciales, aux écoles 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 vont 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 reliés 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 habitants du projet, les riverains, les usagers 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.

D. 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

VII. Phase 2 : approvisionnement en énergie du projet

A partir des hypothèses de consommations énergétiques détaillées en phase 1, 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

Comme vu précédemment, le site du projet ne présente **pas d'obstacle majeur** au vent, bâti ou végétal. La construction des bâtiments et la végétalisation du site va toutefois venir bouleverser ces conditions. 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. Hypothèses retenue :

La mise en œuvre d'une **petite éolienne** permet de produire environ **5 600 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 **52 petites éoliennes**, ce qui correspond à un potentiel théorique de production annuel de **291 MWh** (soit **entre 55% et 65% des besoins en énergie électrique** du projet, suivant le niveau de performance énergétique du bâti attendu - RT2012 ou passif). Ce potentiel restera toutefois à vérifier par une étude précise des vents à l'issue de l'aménagement.



Illustration n°36 : 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 privées. La mise en œuvre de capteurs en **brise-soleil** doit être étudiée en **cas par cas** pour tenir compte des ombres portées.

1. Hypothèses retenues :

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

Pour les **maisons individuelles** (lots libres comme maisons imposées), nous considérons en moyenne **20 m²** de panneaux par logement.

Pour les **logements intermédiaires**, nous considérons en moyenne **15 m²** de panneaux par logement.

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 ou nombres	Hypothèse d'implantation des panneaux solaires	Surfaces de panneaux solaires envisageables
Bâtiments de logements collectifs	650 m ²	1/3 des surfaces de toitures	217 m ²
Logements intermédiaires	300 m ²	1/3 des surfaces de toitures	100 m ²
Lots libres	89	20 m ² /logement	1 780 m ²
Places de stationnement aériennes privées	235	7 m ² /place	1 645 m ²
		Total	3 742 m²

Illustration n°37 : estimation des surfaces disponibles pour l'implantation de panneaux solaires sur l'ensemble de l'opération

Au total ce sont ainsi **2 097 m² de panneaux solaires** qui peuvent être mis en œuvre sur les **toitures des bâtiments** à l'échelle du projet. Cette surface peut être portée **jusqu'à 3 742 m²** en disposant des panneaux solaires photovoltaïques sur les **places de stationnements privées aériennes**.

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°38 : 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/m²)
Production annuelle potentielle	384	734
Part de la consommation pour un niveau RT2012 (usages domestiques compris)	72%	108%
Part de la consommation pour un niveau passif (usages domestiques compris)	86%	178%

Illustration n°39 : productibilité 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 RT2012 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 **147 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 et ombrières de stationnements permettrait d'assurer **72% à 86% des besoins en énergie électrique** du projet, selon 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** par la RT2012.

1. Hypothèses 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 par chacun des logements 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** par la RT2012.

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

1. Hypothèses 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.

E. Production de chaleur par bois énergie

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

1. Hypothèses 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. Cloacothermie

1. Hypothèses retenues

La récupération de l'énergie par **récupération de chaleur sur l'eau des douches** 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**).

2. Production d'énergie envisageable

La récupération de chaleur sur l'eau des douches permettrait de récupérer 30 % de la production d'ECS, soit de couvrir **10% à 16% des besoins de chaleur** de l'opération.

G.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 RT2012 calculées précédemment (voir phase I).

EnR	Taux de couverture par les EnR RT2012			Taux de couverture par les EnR Passif (préfiguration RE2020)		
	Chaleur	Electricité	Total énergie	Chaleur	Electricité	Total énergie
Solaire thermique	108%	0%	61%	178%	0%	85%
Solaire photovoltaïque	0%	72%	32%	0%	86%	45%
Chaudière bois granulés	100%	0%	56%	100%	0%	48%
Chaudière bois plaquette	80%	0%	45%	80%	0%	38%
PAC géothermie	71%	0%	40%	71%	0%	34%
PAC aérothermie	63%	0%	35%	63%	0%	30%
Récupération d'énergie eaux usées	10%	0%	6%	16%	0%	8%
Micro éolien	0%	55%	24%	0%	65%	34%

Illustration n°40 : Taux de couvertures des besoins énergétiques par les EnR mobilisables à l'échelle du projet

A la lumière de ces éléments, **aucune source d'énergie renouvelable** ne permet à elle seule de couvrir 100% des consommations en énergie thermique et électrique de l'ensemble des logements.

La création d'un projet à **énergie positive** (consommant moins d'énergie qu'il n'en produit) ne peut être envisagée qu'à partir d'un **mix énergétique** et 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 constructeurs et les propriétaires de chacun des lots. Une **sensibilisation** et un **accompagnement** des habitants sont par ailleurs indispensables.

VIII.Phase 3 : 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**.

A. 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.

B. 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 : les **regroupements de bâtiments de logements collectifs**, gros consommateurs, seront plus adaptés à une chaufferie centralisée qu'une trame diffuse d'habitat individuel, qui nécessitera par ailleurs des extensions de réseau considérables et coûteuses.

C. Hypothèses de consommations retenues

Dans le cas présent, nous étudierons l'opportunité à partir de chaque bâtiment à partir des hypothèses de consommations énergétiques considérées précédemment (voir phase I).

Typologie de logements	Logements collectifs		Logements intermédiaires		Lots libres	
SHON _{RT} considérée	58,5 m ²		72 m ²		126 m ²	
Consommations prévisionnelles en énergie finale (kWh _{EF} /an)	BBC/ RT2012	Habitat passif/ RE2020	BBC/ RT2012	Habitat passif/ RE2020	BBC/ RT2012	Habitat passif/ RE2020
Chauffage	1 872	995	2 304	1 224	4 032	2 142
ECS	1 053	790	1 296	972	2 268	1 701
Electricité technique	527	468	648	576	1 134	1 008
Electricité domestique	1 463	1 170	1 800	1 440	3 150	2 520
Cuisson	540	540	540	540	540	540
Consommation totale (kWh_{EF}/an)	5 454	3 962	6 588	4 752	11 124	7 911

Illustration n°41 : Tableau des consommations énergétiques en fonction de la performance énergétique, en fonction de la typologie du bâti

D. Etude d'opportunité

La figure suivante représente la valeur seuil des **1 500 kWh/ml/an** en s'appuyant sur l'implantation des bâtiments. Ainsi, les bâtiments potentiellement raccordables au réseau de chaleur à créer sont ceux dont les **cercles se chevauchent**.

On retient ainsi, en considérant la RT2012 en hypothèse pénalisante :

- Pour les **logements collectifs**, des besoins d'énergie thermique de 2 925 kWh_{EF}/an par logements, soit **29 250 kWh_{EF}/an** pour chacun des 3 bâtiments ;
- Pour les **logements intermédiaires**, des besoins d'énergie thermique de 3 330 kWh_{EF}/an par logements, soit **13 320 kWh_{EF}/an** pour chacun des 2 blocs de 4 logements ;
- Pour les **lots libres**, des besoins d'énergie thermique de **6 300 kWh_{EF}/an** par logements.

Les bâtiments ne voient pas tous leurs cercles se chevaucher, notamment au niveau des logements individuels. Dès lors, **la création d'un réseau de chaleur à l'échelle du quartier n'apparaît pas judicieuse**. A noter que les logements sont efficaces sur l'énergie thermique, moins leurs besoins sont élevés, plus il apparaît difficile de rentabiliser un réseau de chaleur.

Toutefois, on note qu'un **pôle de densité énergétique** se distingue autour des **bâtiments de logements collectifs et logements intermédiaires**. Il peut alors apparaître judicieux de mutualiser les capacités de production de chaleur thermique pour ces logements collectifs.



Illustration n°42 : Analyse qualitative de la densité énergétique pour un exemple d'implantation

E. Analyse quantitative

Une configuration des réseaux peut être étudiée autour des logements collectifs et logements intermédiaires. Elle révèle une densité légèrement supérieure à 1 500 kWh/ml/an. Dès lors, elle pourrait montrer un intérêt sur la base d'autres critères.



■ Bâtiments collectifs pouvant être dotés d'une chaudière commune

▲ Emplacement indicatif des chaudières

— Canalisations de distribution de chaleur envisageables

Illustration n°43 : Analyse quantitative de la densité énergétique pour un exemple d'implantation

A la lumière de ces éléments, il n'apparaît **pas pertinent de créer un réseau de chaleur** dans le cadre de la construction d'un ensemble de **logements neufs peu énergivores**. En revanche, il peut être plus pertinent de créer des **micro-réseaux entre bâtiments collectifs et groupés** en vue de mutualiser les dispositifs de production d'énergie thermique et de mieux répartir les coûts associés. Un **local dédié** à la chaudière pourrait être implanté à équidistance des différents bâtiments pour optimiser la distribution.

Toutefois, il apparaît nécessaire dans ce cas d'**édifier les bâtiments et de commercialiser les logements simultanément** pour s'assurer que le système de production d'énergie n'est pas surdimensionné au regard des logements desservis. Ceci pourrait d'une part conduire à des dysfonctionnements et une détérioration de la chaudière, tout comme à des coûts de fonctionnement et d'entretien prohibitifs supportés seulement par les premiers logements construits dans un premier temps.

IX. Phase 4 : étude de l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables

Les **consommations énergétiques** attendues à l'échelle du projet ont été calculées précédemment en **phase I**, en fonction de la performance énergétique des logements. 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.

Scénario	Chauffage	ECS	Energie d'appoint	Remarque
SC1 Gaz + électricité	Gaz de ville	Gaz de ville	Electricité	Scénario de référence « au fil de l'eau » suivant la RT2012
SC2 Electricité + ballon CET	Electricité	Ballon thermodynamique individuel $COP_{moyen\ annuel} = 2$	Electricité	
SC3 Electricité + eau chaude solaire	Electricité	Electricité + Solaire (couvrant 40% des besoins)	Electricité	
SC4 Bois granulés	Bois granulés	Bois granulés	Electricité	Chaufferie collective granulés OU Poêle granulés (individuels)
SC5 Bois granulé + ballon thermodynamique	Bois granulés	Ballon thermodynamique individuel $COP_{moyen\ annuel} = 2$	Electricité	Chaufferie collective granulés OU Poêle granulés (individuels)
SC6 PAC sur sondes géothermiques	PAC sur sondes géothermiques	PAC sur sondes géothermiques	Electricité	
SC7 PAC air/eau	PAC air/eau $COP_{moyen\ annuel} = 2,8$	PAC air/eau	Electricité	

Illustration n°44 : synthèse des équipements envisagés dans le cadre des différents scénarios

La **RE2020** pousse à **réduire la part des énergies fossiles** : ainsi, le gaz se verra progressivement exclu des nouveaux projets d'aménagements. Toutefois, un **scénario de référence SC1** s'appuyant sur le gaz de ville pour le chauffage et l'ECS a été maintenu en vue de considérer l'**impact du gaz sur les émissions de GES** ainsi que le coût de cette énergie essentiellement importée, notamment à long terme.

A noter que pour les **logements collectifs**, les solutions étudiées sont systématiquement en **chaufferie collective**.

Concernant les scénarios SC2 et SC5, le **$COP_{moyen\ annuel}$** traditionnel est de 2,67 pour les **CET**. Toutefois, il se trouve **volontairement abaissé à 2** en accord avec les performances réelles observées de tels systèmes.

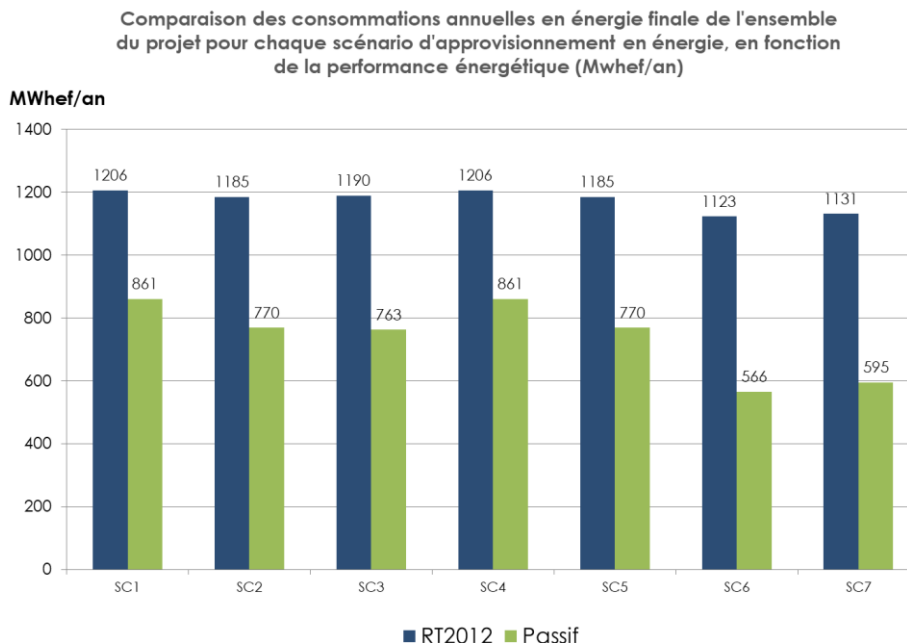
L'étude de ces scénarios va permettre de comparer à l'échelle du projet :

- 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.



	SC1 Gaz + électricité	SC2 Electricité + ballon thermodyn amique	SC3 Eau chaude solaire + électricité	SC4 Bois granulés (chauffage + ECS)	SC5 Bois granulé + ballon thermodyn amique	SC6 Géothermie	SC7 Aérothermie
RT2012	1206	1185	1190	1206	1185	1123	1131
Passif	861	770	763	861	770	566	595

Illustration n°45 : 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)

En comparaison des consommations estimées en phase 1 (1 206 MWhéf/an en RT2012 ou 861 MWhéf/an en passif, voir Phase 1), ces scénarios intègrent l'**approvisionnement en énergie gratuite (solaire actif)**, les notions de **rendement** et d'**appoint**.

Le **scénario le moins énergivore** apparaît être le scénario SC6 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). Le Scénario SC7 faisant appel à des **PAC air/eau** (aérothermie) apparaît également intéressant malgré un **moindre rendement**. Les scénarios les **plus défavorables** en termes de consommation d'énergie finale sont ceux faisant appel au **gaz** (SC1, scénario de référence retenu pour l'étude) mais également le scénario SC4 faisant appel à la **filière bois énergie**.

Ce tableau montre que pour des **besoins identiques**, les **consommations en énergie finale** peuvent **varier jusqu'à 33%** en fonction du type d'énergie choisi pour approvisionner les

bâtiments (différence entre scénarios SC1 ou SC4 en comparaison de SC6 pour l'habitat passif). Il importe toutefois d'**analyser les coûts associés**, tant pour l'investissement que pour la maintenance et le fonctionnement à long terme.

1. Comparaison des coûts d'investissement

Les **coûts d'investissement** ont été comparés, tant pour les logements collectifs que pour les logements individuels, en fonction des **équipements prévus** au travers des **différents scénarios** pour assurer le chauffage, la production d'ECS, l'émission et la distribution de la chaleur et la ventilation.

A noter qu'un système de ventilation mécanique contrôlé simple flux type Hygro B est pris en compte pour chacun des scénarios.

○ Coût global d'investissement :

Les coûts d'investissement sont détaillés en annexe en fonction de la typologie du bâti et des différents scénarios.

Les graphiques suivant présentent le **coût global d'investissement** en fonction de la **typologie du bâti**, quel que soit le niveau de performance énergétique (RT2012 ou passif).

Suivant le scénario, les **coûts des investissements** liés aux systèmes énergétiques (production, distribution de chauffage, ECS, ventilation) varient du **simple au triple** en **maison individuelle** par rapport à une solution de référence à environ 10 000 € TTC (SC1). La variation est moins marquée dans les logements intermédiaires, et encore moins en **logements collectifs** du fait d'une meilleure **mutualisation des coûts** sur des équipements communs.

Les solutions mobilisant les **énergies renouvelables** n'apparaissent **pas forcément les plus onéreuses**.

Le scénario SC6, faisant appel à la **géothermie**, apparaît le **plus coûteux** car il nécessite la réalisation de **forages** dont le coût est non négligeable.

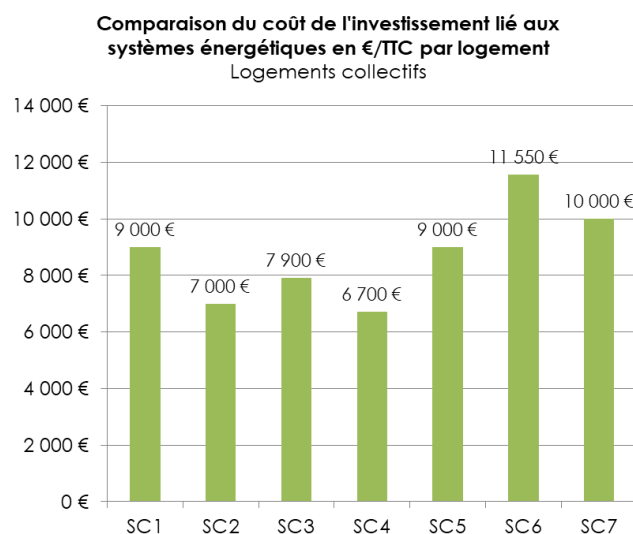


Illustration n°46 : Comparaison du coût de l'investissement lié aux systèmes énergétiques en €/TTC par logement – logements collectifs

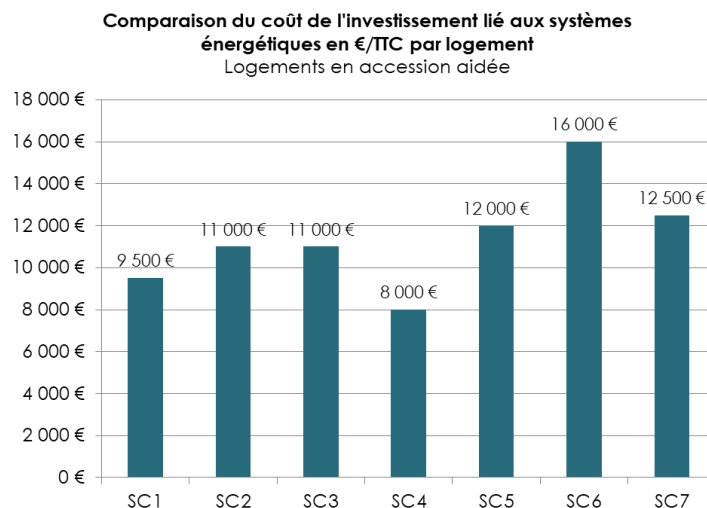


Illustration n°47 : Comparaison du coût de l'investissement lié aux systèmes énergétiques en €/TTC par logement – logements intermédiaires

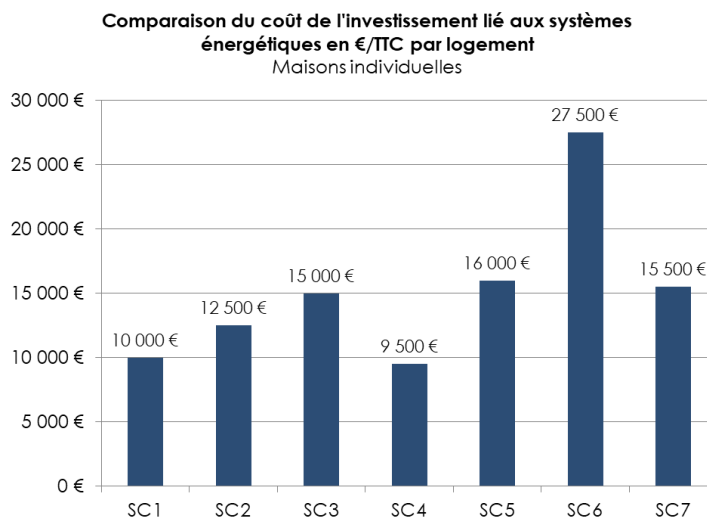


Illustration n°48 : Comparaison du coût de l'investissement lié aux systèmes énergétiques en €/TTC par logement – maisons individuelles

2. Comparaison des coûts de fonctionnement actualisés sur 20 ans

L'étude des **coûts de fonctionnement** la **première année** n'apparaît **pas pertinente** à moyen/long terme car elle ne reflète pas l'**évolution du prix des énergies**, notamment l'inexorable inflation des énergies fossiles. Dès lors, il apparaît nécessaire de prendre en compte les **coûts de fonctionnement sur 20 ans** (durée de vie moyenne des systèmes de chauffage et de production d'ECS), en tenant compte de l'**inflation** tant pour les énergies que pour la maintenance annuelle.

○ Hypothèses :

Il apparaît difficile de prévoir l'inflation des **coûts de l'énergie** dans les années futures, ceux-ci dépendant fortement de **facteurs géopolitiques** imprévisibles. Toutefois, selon l'ADEME, il apparaît raisonnable de tabler sur une augmentation annuelle exponentielle des coûts de l'énergie à 3% hors inflation dès 2020 compte-tenu de la croissance de la demande.

Pour le **gaz**, ressource essentiellement importée de Norvège, des Pays-Bas et de la Russie, l'évolution du prix **fluctue** fortement. Ainsi, le prix du kWh au tarif B1 en zone 1 était de 0,0456

€ TTC en Juillet 2016 et atteint en Juillet 2021 0,0646 € TTC. Cela représente une **hausse annuelle d'environ 7%**.

Depuis **6 ans**, le coût de l'**électricité** pour les particuliers a augmenté de **près de 19 %**, soit une moyenne de 3,2%/an. Nous maintiendrons ainsi une **hypothèse** de croissance moyenne de **4% annuel sur 20 ans**.

Sur les **13 dernières années**, le prix du **bois énergie** apparaît **stable** (+1,2%) : ceci peut être relié à la structuration progressive de la filière, à la hausse de la concurrence, à l'optimisation de l'exploitation du gisement forestier et agricoles. Nous maintiendrons une **hypothèse** de croissance moyenne de **2% sur 20 ans**.

A la lumière de ces éléments, les taux d'inflation annuels pris en compte dans la présente étude sont ceux répertoriés dans le tableau suivant.

Energie	Evolution
Gaz	7%
Electricité	4%
Bois	2%
Maintenance	2%

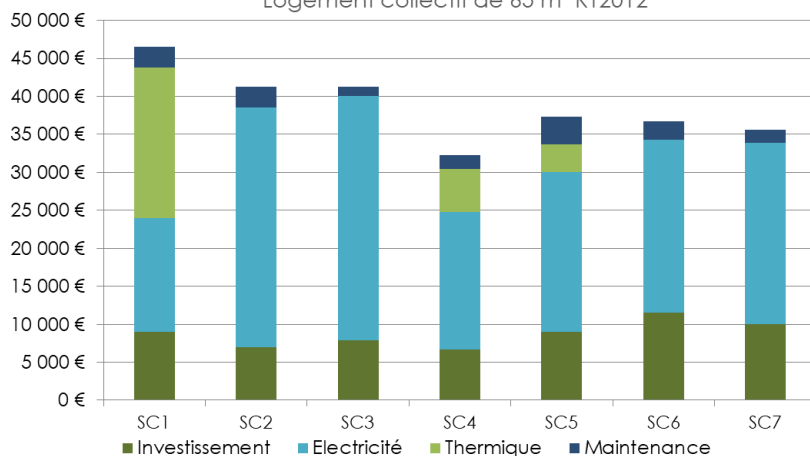
Toutefois, il convient de garder à l'esprit que les **taux d'inflation** considérés peuvent changer ces conclusions. Ainsi, un **revirement de stratégie nationale** en termes de production d'énergie électrique (sortie du nucléaire par exemple, conduisant à une hausse du coût de l'énergie électrique) pourrait **pénaliser les scénarios** mettant en œuvre les **PAC**, car ces scénarios reposent entièrement sur l'électricité.

A noter par ailleurs que le **niveau passif** conduirait à **minimiser les écarts entre scénarios**, du fait d'une moindre consommation d'énergie, tout conduisant à des **temps de retour sur investissement plus importants**.

○ Coût de fonctionnement sur 20 ans pour les logements collectifs :

Les graphiques suivants présentent pour chaque scénario les résultats d'analyse de coût global sur 20 ans, incluant l'investissement initial, d'un logement collectif de 65 m² de surface plancher (surface calculée selon la norme RT2012).

Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement RT2012 (en € TTC)
Logement collectif de 65 m² RT2012

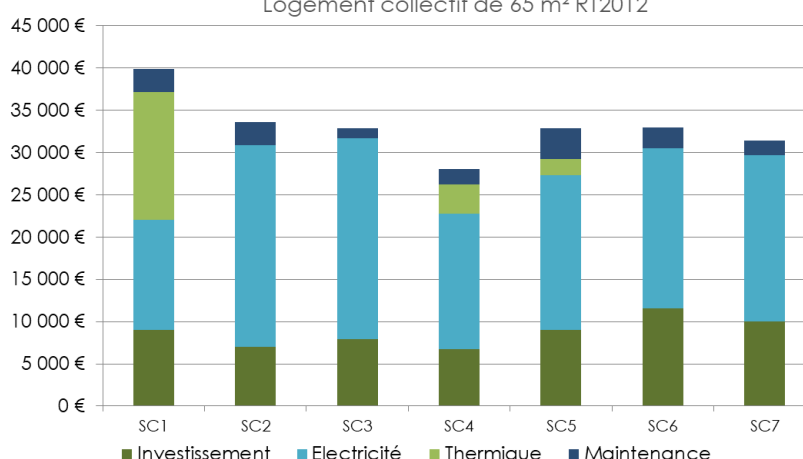


SC1 Gaz + électricité	SC2 Electricité + ballon thermodyna	SC3 Eau chaude solaire + électricité	SC4 Bois granulé (chauffage + ECS)	SC5 Bois granulé + ballon thermodyna	SC6 Géothermie	SC7 Aérothermie
-----------------------------	--	---	---	---	-------------------	--------------------

		mique			mique		
Investissement	9 000 €	7 000 €	7 900 €	6 700 €	9 000 €	11 550 €	10 000 €
Electricité	15 006 €	31 541 €	32 134 €	18 045 €	21 007 €	22 747 €	23 923 €
Gaz/bois	19 802 €	0 €	0 €	5 672 €	3 630 €	0 €	0 €
Maintenance	2 673 €	2 673 €	1 215 €	1 822 €	3 645 €	2 430 €	1 701 €
Total	46 481 €	41 214 €	41 248 €	32 239 €	37 282 €	36 727 €	35 624 €

Illustration n°49 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement RT2012 (en € TTC) - Logement collectif de 65 m² RT2012

Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement passif (en € TTC)
Logement collectif de 65 m² RT2012



	SC1 Gaz + électricité	SC2 Electricité + ballon thermodyna mique	SC3 Eau chaude solaire + électricité	SC4 Bois granulé (chauffage + ECS)	SC5 Bois granulé + ballon thermodyna mique	SC6 Géothermie	SC7 Aérothermie
Investissement	9 000 €	7 000 €	7 900 €	6 700 €	9 000 €	11 550 €	10 000 €
Electricité	13 031 €	23 888 €	23 739 €	16 070 €	18 292 €	18 938 €	19 655 €
Gaz/bois	15 141 €	0 €	0 €	3 460 €	1 928 €	0 €	0 €
Maintenance	2 673 €	2 673 €	1 215 €	1 822 €	3 645 €	2 430 €	1 701 €
Total	39 845 €	33 560 €	32 854 €	28 052 €	32 865 €	32 918 €	31 356 €

Illustration n°50 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement passif(en € TTC) – Logement collectif de 70 m² RT2012

Cette analyse permet de conclure que les **scénarios bois granulés, PAC géothermique et PAC air/eau sont les plus économiques sur 20 ans**, avec une économie pouvant aller jusqu'à 14 000 € par rapport aux énergies conventionnelles. Cette tendance est **moins marquée pour le logement passif**, consommant moins d'énergie, mais qui permet de **faire des économies** de 4 000 € TTC à 8 000 € TTC.

○ Coût de fonctionnement sur 20 ans pour les logements intermédiaires :

Les graphiques suivants présentent pour chaque scénario les résultats d'analyse de coût global sur 20 ans, incluant l'investissement initial, d'un logement intermédiaire de 80 m² (surface calculée selon la norme RT2012).

Cette analyse permet de conclure que les **scénarios bois granulés et PAC air/eau sont les plus économiques sur 20 ans**, avec une économie pouvant aller jusqu'à 11 000 € HT par rapport aux énergies conventionnelles. Cette tendance est **moins marquée pour le logement passif**, consommant moins d'énergie notamment thermique, mais qui permet de **faire des économies** de 5 000 € TTC à 10 000 € TTC.

**Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement
en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie
pour un logement RT2012 (en € TTC)**

Logement en accession aidée de 80 m² RT2012

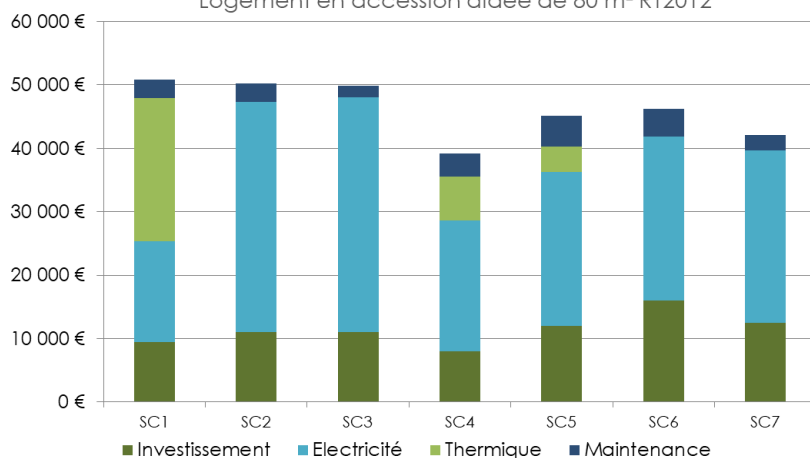
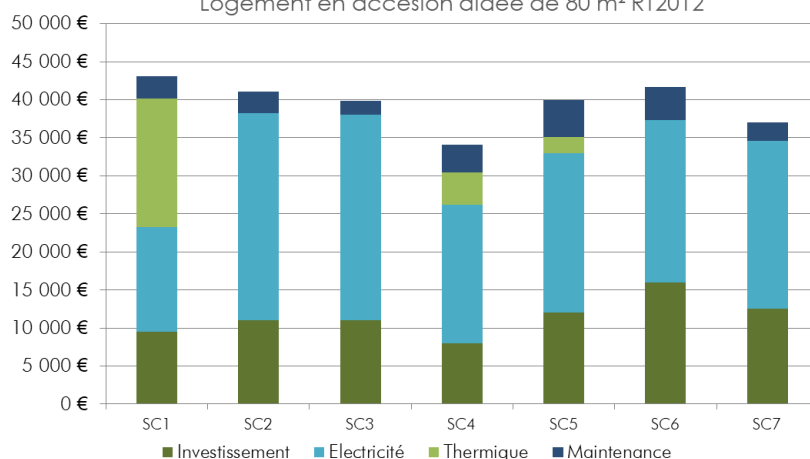


Illustration n°51 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement RT2012 (en € TTC) - Logement individuel groupé de 90 m² RT2012

**Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement
en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie
pour un logement passif (en € TTC)**

Logement en accession aidée de 80 m² RT2012



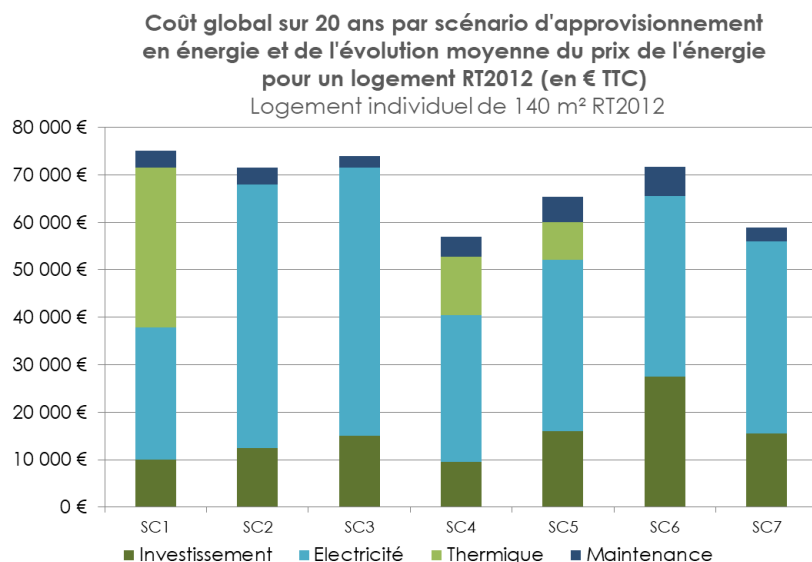
	SC1 Gaz + électricité	SC2 Electricité + ballon thermodyna mique	SC3 Eau chaude solaire + électricité	SC4 Bois granulé (chauffage + ECS)	SC5 Bois granulé + ballon thermodyna mique	SC6 Géothermie	SC7 Aérothermie
Investissement	9 500 €	11 000 €	11 000 €	8 000 €	12 000 €	16 000 €	12 500 €
Electricité	13 804 €	27 178 €	27 001 €	18 197 €	20 931 €	21 272 €	22 128 €
Gaz/bois	16 824 €	0 €	0 €	4 258 €	2 158 €	0 €	0 €
Maintenance	2 916 €	2 916 €	1 822 €	3 645 €	4 859 €	4 374 €	2 430 €
Total	43 043 €	41 094 €	39 823 €	34 100 €	39 949 €	41 646 €	37 058 €

Illustration n°52 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement passif (en € TTC) - Logement individuel groupé de 90 m² m² RT2012

○ **Coût de fonctionnement sur 20 ans pour les logements individuels :**

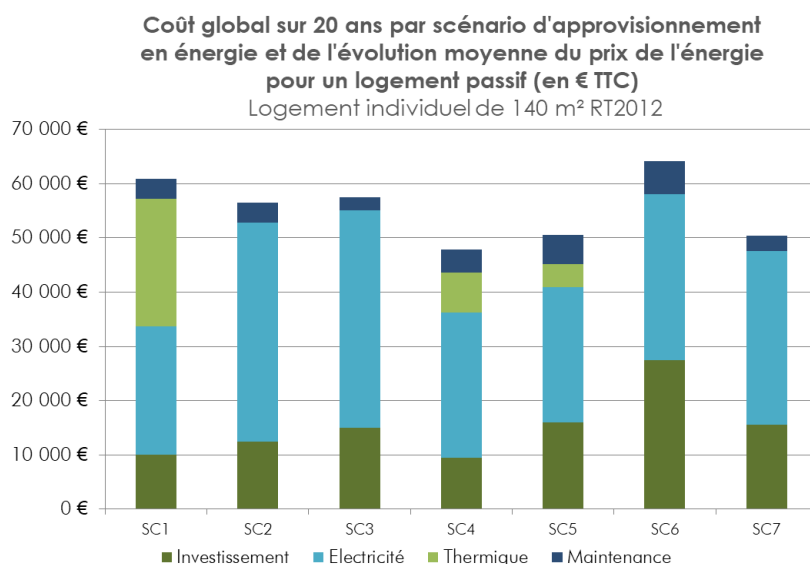
Le graphique suivant présente pour chaque scénario les résultats d'analyse de coût global sur 20 ans, incluant l'investissement initial, d'un logement individuel de 140 m².

Cette analyse permet de conclure que **les écarts de coût sur 20 ans sont relativement importants pour les logements individuels**. Les scénarios **bois granulés** et **PAC air/eau** sont les **plus économiques**, le bois bénéficiant d'un prix relativement stable permettant de couvrir les besoins thermiques, tandis que la PAC air/eau représente un investissement relativement faible et d'une bonne performance. La mise en œuvre de ces solutions peut permettre des économies allant jusqu'à 17 000 € HT sur 20 ans par rapport aux énergies conventionnelles. Le scénario mettant en œuvre une **PAC géothermique** apparaît plus coûteux du fait de l'absence de division des coûts sur l'investissement initial bénéficiant aux autres types de logements et des coûts de maintenance élevés, nécessitant un **amortissement à plus long terme**.



	SC1 Gaz + électricité	SC2 Electricité + ballon thermodyna mique	SC3 Eau chaude solaire + électricité	SC4 Bois granulé (chauffage + ECS)	SC5 Bois granulé + ballon thermodyna mique	SC6 Géothermie	SC7 Aérothermie
Investissement	10 000 €	12 500 €	15 000 €	9 500 €	16 000 €	27 500 €	15 500 €
Electricité	27 920 €	55 384 €	56 549 €	30 959 €	36 153 €	38 097 €	40 408 €
Gaz/bois	33 591 €	0 €	0 €	12 217 €	7 819 €	0 €	0 €
Maintenance	3 645 €	3 645 €	2 430 €	4 252 €	5 467 €	6 074 €	2 916 €
Total	75 156 €	71 528 €	73 978 €	56 927 €	65 438 €	71 672 €	58 824 €

Illustration n°53 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement RT2012 (en € TTC) - Logement individuel de 140 m² RT2012



	SC1 Gaz + électricité	SC2 Electricité + ballon thermodyna mique	SC3 Eau chaude solaire + électricité	SC4 Bois granulé (chauffage + ECS)	SC5 Bois granulé + ballon thermodyna mique	SC6 Géothermie	SC7 Aérothermie
Investissement	10 000 €	12 500 €	15 000 €	9 500 €	16 000 €	27 500 €	15 500 €
Electricité	23 666 €	40 339 €	40 048 €	26 705 €	24 963 €	30 610 €	32 020 €
Gaz/bois	23 553 €	0 €	0 €	7 452 €	4 154 €	0 €	0 €
Maintenance	3 645 €	3 645 €	2 430 €	4 252 €	5 467 €	6 074 €	2 916 €
Total	60 863 €	56 484 €	57 478 €	47 909 €	50 583 €	64 184 €	50 435 €

Illustration n°54 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie et de l'évolution moyenne du prix de l'énergie pour un logement passif (en € TTC) - Logement individuel de 140 m² RT2012

3. Comparaison des émissions de GES par la production d'énergie pour les logements

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

○ Hypothèses :

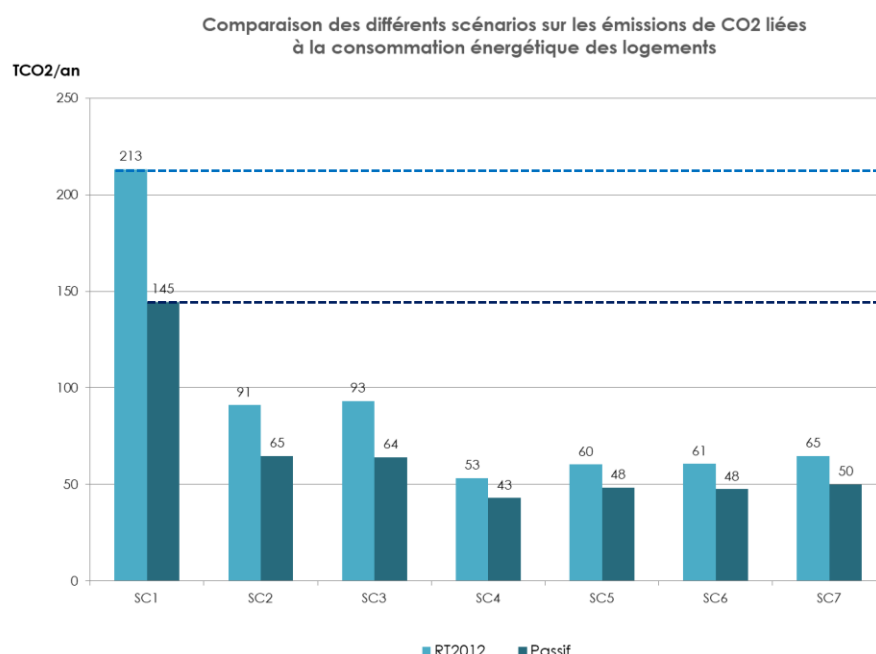
Le tableau suivant présente les émissions de gaz à effet de serre par kWh électrique émis en fonction de l'usage de l'électricité. Les coefficients utilisés sont issus de l'arrêté du 15 Septembre 2006 relatif au Diagnostic de Performance Energétique et du bilan établi par l'ADEME en 2005 sur les émissions 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 /kWh _{PCIef} , ou tCO ₂ /MWh _{PCIef})	
Chauffage	0,18
Eclairage	0,1
Cuisson, lavage	0,06
Autres usages résidentiels	0,04

Illustration n°55 : Extrait de la note de cadrage sur le contenu en CO₂ du kWh électrique par usage en France (source : ADEME, 2005)

○ 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 des logements de l'opération, selon que ceux-ci suivent la RT 2012 ou atteignent un niveau passif.



t/CO ₂ /an	SC1 Gaz + électricité	SC2 Electricité + ballon thermodyna mique	SC3 Eau chaude solaire + électricité	SC4 Bois granulé (chauffage + ECS)	SC5 Bois granulé + ballon thermodyna mique	SC6 Géothermie	SC7 Aérothermie
RT2012	213	91	93	53	60	61	65
Passif	145	65	64	43	48	48	50

Illustration n°56 : Comparaison des différents scénarios sur les émissions de CO₂ liées à la consommation énergétique des logements

Le **scénario de référence SC1** utilisant le gaz naturel pour le chauffage et la production d'ECS conduirait à émettre **213 t CO₂/an** (pour des logements suivant la **RT2012**) et **145 t CO₂/an** (pour des logements **passifs**).

Les autres dispositifs de production d'énergie peuvent permettre de **réduire les émissions jusqu'à 75%** par rapport à la référence SC1 (cas du scénario SC4 en RT2012). 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.

4. 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.

5. Synthèse des scénarios

Les résultats des approches énergétiques, économiques et environnementales, en lien avec le contexte régional, sont synthétisés dans les tableaux suivants pour les logements individuels et collectifs.

On s'appuiera sur le code couleur suivant pour apprécier pertinence de la solution :

Réponse favorable
Réponse mitigée, partiellement adaptée
Réponse défavorable

o Logements collectifs :

	Faible consommation en énergie finale	Coût d'investissement	Coût de fonctionnement la première année	Coût global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Compatibilité avec la dépendance énergétique de la Bretagne	Taux d'utilisation d'EnR
SC1 Gaz + électricité							
SC2 Electricité + CET							
SC3 ECS solaire + électricité							
SC4 Bois granulé (chauffage + ECS)							
SC5 Bois granulé + CET							
SC6 Géothermie							
SC7 Aérothermie							

o Logements intermédiaires :

	Faible consommation en énergie finale	Coût d'investissement	Coût de fonctionnement la première année	Coût global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Compatibilité avec la dépendance énergétique de la Bretagne	Taux d'utilisation d'EnR
SC1 Gaz + électricité							
SC2 Electricité + CET							
SC3 ECS solaire + électricité							
SC4 Bois granulés (chauffage + ECS)							
SC5 Bois granulé + CET							
SC6 Géothermie							
SC7 Aérothermie							

Les scénarios SC4 et SC5 faisant appel à la filière bois énergie apparaissent présenter une réponse plus adaptée pour les logements collectifs et logements intermédiaires. A noter que la géothermie peut être avantageuse si les coûts importants associés à sa maintenance et sa mise en œuvre peuvent être répartis sur plusieurs logements.

○ Maisons individuelles :

	Faible consommation en énergie finale	Coût d'investissement	Coût de fonctionnement la première année	Coût global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Compatibilité avec la dépendance énergétique de la Bretagne	Taux d'utilisation d'EnR
SC1 Gaz + électricité							
SC2 Electricité + CET							
SC3 ECS solaire + électricité							
SC4 Bois granulés (chauffage + ECS)							
SC5 Bois granulé + CET							
SC6 Géothermie							
SC7 Aérothermie							

Les scénarios SC4 et SC5 faisant appel à la filière bois énergie apparaissent présenter une réponse plus adaptée pour les logements individuels groupés. A noter que l'aérothermie présente bien des avantages mais se trouve inadaptée au contexte régional de dépendance électrique.

X. Prospectives : 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 logements, 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 : c'est précisément un des axes de la **RE2020** amenée à entrer en vigueur au 1^{er} Janvier 2022.

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 propriétaires** de chacun des lots. 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 futurs propriétaires et aménageurs 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 la création de **logements**, 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 habitants.

2. Consommation des logements

Comme vu en phase I, les consommations énergétiques liées au bâti varient, en **fonction des sources d'énergie considérées** et de la **performance du bâti**, de 566 MWh_{ef}/an (habitat passif alimenté par géothermie) à 1 206 MWh_{ef}/an (habitat RT2012 alimenté par gaz) à l'échelle du projet.

Dès lors, les émissions de GES peuvent être assimilées à 43 T eq CO₂ à 213 T eq CO₂ à l'échelle du projet en fonction des énergies considérées comme vu en phase 4.

3. Consommation des espaces publics

Les **émissions de CO₂** associées à l'éclairage des espaces publics seraient de **1,06 t/an** dans le cas de la mise en œuvre de **systèmes d'éclairage traditionnels**, et de **0,41 t/an** pour des **systèmes LED**, en s'appuyant sur les données établies en phase I.

4. 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, **188 véhicules sont attendus sur l'opération (tranches 1 et 2 de l'OAP) et 310 à terme (4 tranches de l'OAP)**, en reprenant les hypothèses avancées dans le cadre de l'étude de déplacements.

Ces véhicules sont répartis de la façon suivante, en fonction de l'âge et du carburant utilisé.

Hypothèse retenue – Parc automobile sur le site du projet			
Norme	Diesel	Essence	Total
EURO1	0	0	0
EURO2	37	21	57
EURO3	38	21	59
EURO4	46	24	70
EURO5	1	1	2
EURO6	0	0	0
Total	122	66	188

Illustration n°57 : répartition du parc automobile attendu sur le site de l'opération selon les normes EURO et la carburant utilisé (source ADEME)

Les hypothèses de distances parcourues sont les suivantes :

- 33% des trajets quotidiens correspondent à des trajets à pied ou à vélo ;
- **67% des trajets quotidiens** vont vers le lieu de travail avec en moyenne **20 km aller-retour** (10 km de distance de l'agglomération de Lorient) ;

Ceci correspond à **2 519 km parcourus par jour par l'ensemble du parc de véhicules motorisés de l'opération.**

On calcule ensuite les émissions en polluants à partir des émissions théoriques des véhicules en fonction de leur carburant et de leur norme EURO, dépendant de leur âge (voir annexe). A partir de ces hypothèses, on en déduit les **émissions annuelles polluantes** du parc automobile du quartier.

Polluant	Emissions annuelles
Oxydes d'azote (NOx)	261 kg/an
Monoxyde de carbone (CO)	1 461 kg/an
Hydrocarbures (HC)	48 kg/an
HC + NOx	499 kg/an
Particules (PM)	49 kg/an
Particules (P)	5,35.10 ⁹ unités/an
Hydrocarbures non méthaniques (HCNM)	0 kg/an
Dioxyde de carbone	211 T/an

Illustration n°58 : Emissions annuelles estimées pour le parc automobile de l'ensemble de l'opération

Pour les 188 véhicules attendus sur l'opération, les **émissions annuelles** dues aux transports seraient de **261 kg d'oxyde d'azote**, **1 461 kg de monoxyde de carbone**, de **48 kg d'hydrocarbures**, de **49 kg de particules** et de **211 tonnes de dioxyde de carbone**.

5. 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 des logements	43 T eq CO ₂	213 T eq CO ₂
Consommation des espaces publics	0,4 T eq CO ₂	1,1 T eq CO ₂
Transports	211 T eq CO ₂	211 T eq CO ₂
Total	254,4 T eq CO₂	425,1 T eq CO₂

Illustration n°59 : 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** : le porteur de projet peut 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 peuvent entrer dans ce processus de compensation s'ils le désirent.

2. Compensation carbone par des actions locales

Il est par ailleurs envisageable pour le porteur de projet 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 2). 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 2, la surface de toiture disponible sur l'ensemble du projet permet la mise en œuvre de 3 742 m² de **panneaux solaires photovoltaïques**. La **production d'électricité** peut ainsi être de **384 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	2 097m ²
Production annuelle d'électricité envisageable à l'échelle du projet	215 MWh
Consommation annuelle du projet en énergie électrique spécifique (hors chauffage et ECS) – niveau RT2012	529 MWh
Part de la consommation en énergie électrique spécifique (hors chauffage et ECS) pouvant être assurée par panneaux solaires photovoltaïques– niveau RT2012	41%

Illustration n°60 : Part de la consommation d'électricité spécifique pouvant être produite par panneaux solaires photovoltaïque 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 41% de l'électricité consommée** par les usages

spécifiques de bâtiments suivant les normes RT2012. Cette couverture des besoins sera assurément plus faible pour les scénarios prévoyant le chauffage et la production d'ECS par des dispositifs électriques (PAC, CET).

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). Cette solution permettrait théoriquement de porter la surface de panneaux solaires photovoltaïques à 3 742 m², permettant d'augmenter la production à 384 MWh sur une année, soit 72% des consommations des ménages en énergie spécifiques (hors chauffage et ECS). 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**.

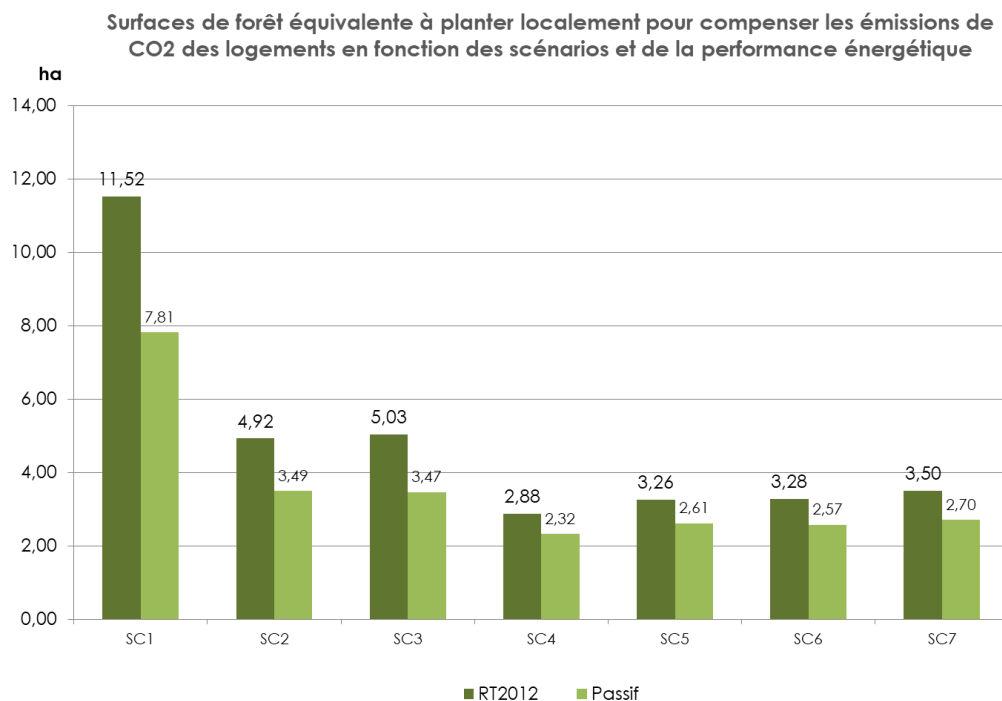
S'y adjoignent des **considérations socio-économiques** fonction du contexte. Il importe ainsi de ne pas réduire la surface agricole utile au risque de **déstabiliser les petits exploitants** et, à une plus large échelle, de créer des **pénuries en alimentation**, notamment dans les pays en voie de développement.

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 logements pour chacun des scénarios envisagés dans le cadre de l'étude.



	SC1 Gaz + électricité	SC2 Electricité + ballon thermodyna mique	SC3 Eau chaude solaire + électricité	SC4 Bois granulés (chauffage + ECS)	SC5 Bois granulé + ballon thermodyna mique	SC6 Géothermie	SC7 Aérothermie
RT2012	11,52	4,92	5,03	2,88	3,26	3,28	3,50
Passif	7,81	3,49	3,47	2,32	2,61	2,57	2,70

Illustration n°61 : Surfaces de forêt équivalente à planter localement pour compenser les émissions de CO₂ des logements en fonction des scénarios et de la performance énergétique

Le scénario de référence nécessiterait selon nos hypothèses près de 12 ha de plantation de forêt pour compenser les émissions de CO₂ générées par le seul bâti du projet. Ceci représente plus de 2 fois la superficie du projet. Le recours à l'habitat passif de manière globale permettrait de réduire cette surface à un peu moins de 8 ha.

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

Si l'on prend en compte les émissions de CO₂ liées aux déplacements motorisés des futurs habitants, les besoins en compensation apparaissent toutefois entre 2 et 10 fois supérieurs. Ceci atteste de la part importante des déplacements dans les émissions de gaz à effet de serre.

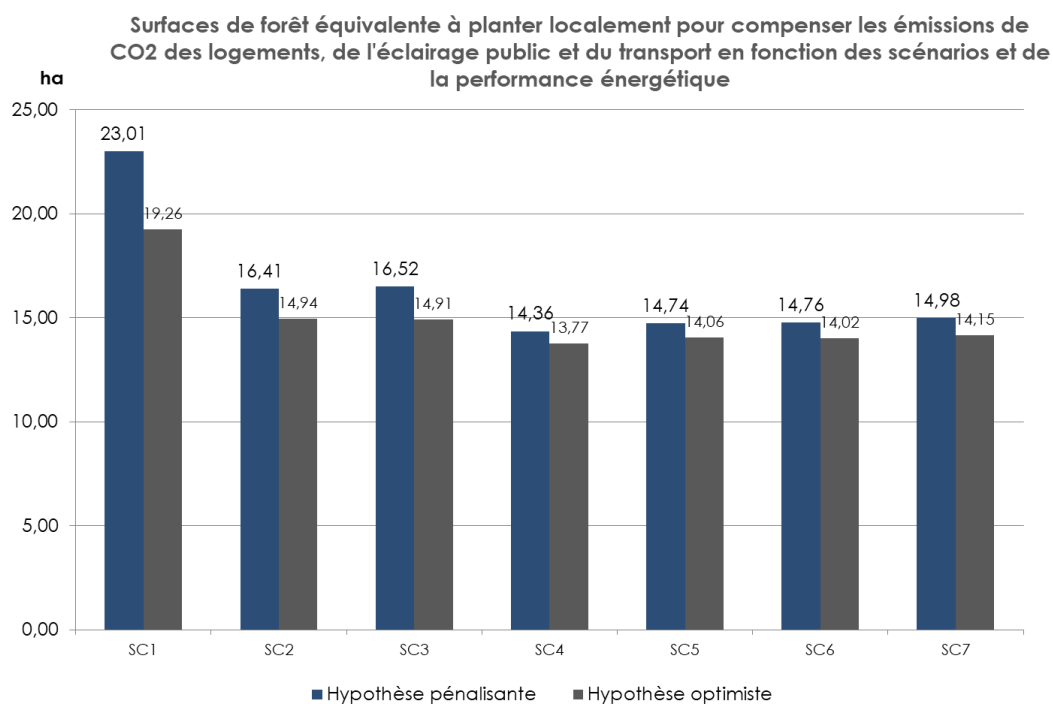


Illustration n°62 : Surfaces de forêt équivalente à planter localement pour compenser les émissions de CO2 des logements, de l'éclairage public et du transport en fonction des scénarios et de la performance énergétique

XI. 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, notamment pour les logements individuels. Etude spécifique à réaliser sur les logements collectifs 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.
Cloacothermie	Faible coût d'installation. Simple à mettre en œuvre.	A coupler à un système de production d'ECS collectif (logements collectifs).	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 collectifs 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.

Préconisations	Avantages	Contraintes	Impact environnemental
PAC géothermie	Récupération d'énergie dans le sol.	Investissement conséquent, notamment pour un logement individuel.	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.
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.

XII. Synthèse et conclusions

Ce rapport vise à estimer le potentiel de développement des énergies renouvelables à l'échelle du projet « Les Hauts de Ty Nehué » visant à la création de logements sur la commune de Pont-Scorff.

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 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.

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 RT2012.

EnR	Taux de couverture par les EnR RT2012			Taux de couverture par les EnR Passif (préfiguration RE2020)		
	Chaleur	Electricité	Total énergie	Chaleur	Electricité	Total énergie
Solaire thermique	108%	0%	61%	178%	0%	85%
Solaire photovoltaïque	0%	72%	32%	0%	86%	45%
Chaudière bois granulés	100%	0%	56%	100%	0%	48%
Chaudière bois plaquette	80%	0%	45%	80%	0%	38%
PAC géothermie	71%	0%	40%	71%	0%	34%
PAC aérothermie	63%	0%	35%	63%	0%	30%
Récupération d'énergie eaux usées	10%	0%	6%	16%	0%	8%
Micro éolien	0%	55%	24%	0%	65%	34%

Illustration n°63 : 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 les logements collectifs, les logements intermédiaires et les logements individuels.

○ **Logements collectifs et logements intermédiaires :**

	Faible consommation en énergie finale	Coût d'investissement	Coût de fonctionnement la première année	Coût global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Compatibilité avec la dépendance énergétique de la Bretagne	Taux d'utilisation d'EnR
SC1 Gaz + électricité							
SC2 Electricité + CET							
SC3 ECS solaire + électricité							
SC4 Bois granulés (chauffage + ECS)							
SC5 Bois granulé + CET							
SC6 Géothermie							
SC7 Aérothermie							

La filière **bois énergie** apparaît présenter une **réponse plus adaptée** pour les **logements collectifs et individuels groupés**. A noter que la **géothermie** peut être avantageuse si les **coûts importants** associés à sa maintenance et sa mise en œuvre peuvent être **répartis sur plusieurs logements**.

○ **Maisons individuelles :**

	Faible consommation en énergie finale	Coût d'investissement	Coût de fonctionnement la première année	Coût global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Compatibilité avec la dépendance énergétique de la Bretagne	Taux d'utilisation d'EnR
SC1 Gaz + électricité							
SC2 Electricité + CET							
SC3 ECS solaire + électricité							
SC4 Bois granulés (chauffage + ECS)							
SC5 Bois granulé + CET							
SC6 Géothermie							
SC7 Aérothermie							

Les scénarios faisant appel à la **filière bois énergie** apparaissent présenter une réponse plus adaptée pour les **logements individuels**. A noter que l'**aérothermie** présente bien des avantages mais se trouve **inadaptée au contexte régional** de dépendance électrique.

Le recours aux **énergies renouvelables** permettrait de **réduire drastiquement les émissions de GES** liées aux consommations énergétiques du bâti à l'échelle de l'ensemble du quartier. Le recours au **solaire** passif (bioclimatisme), au solaire actif et à la **biomasse** (bois énergie) apparaissent ainsi à privilégier.

A noter que la **part des transports motorisés** liés aux déplacements quotidiens des habitants reste **très majoritaire** à l'échelle de l'opération pour l'ensemble des **émissions de GES** (de 50% à 83% suivant les scénarios d'approvisionnement et de performance énergétique).

Les **principales orientations** visant à réduire les consommations d'énergie à l'échelle du quartier 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** des logements suivant leur typologie (solaire, bois énergie).
- 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**, 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.

XIII. Annexes

A. 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

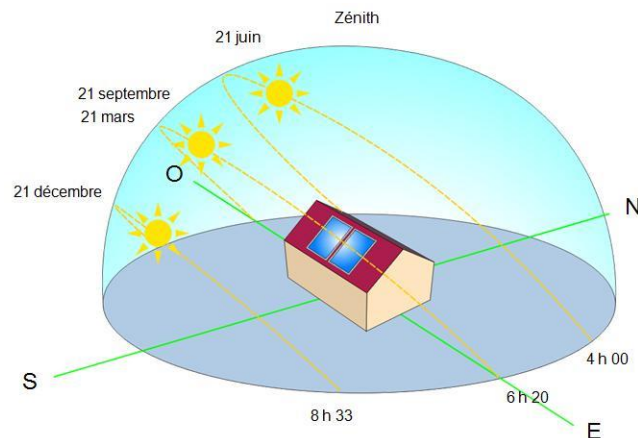


Illustration n°64 : Trajectoire du soleil suivant la saison (source : lepanneausolaire.net)

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.

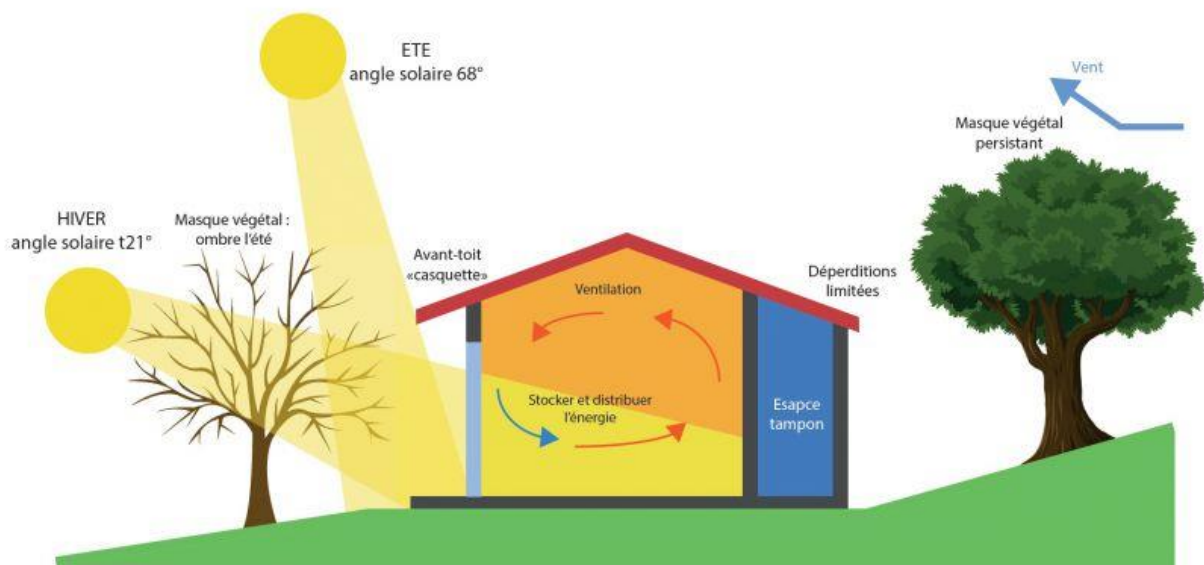


Illustration n°65 : La conception bioclimatique (source : inex.fr)

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.

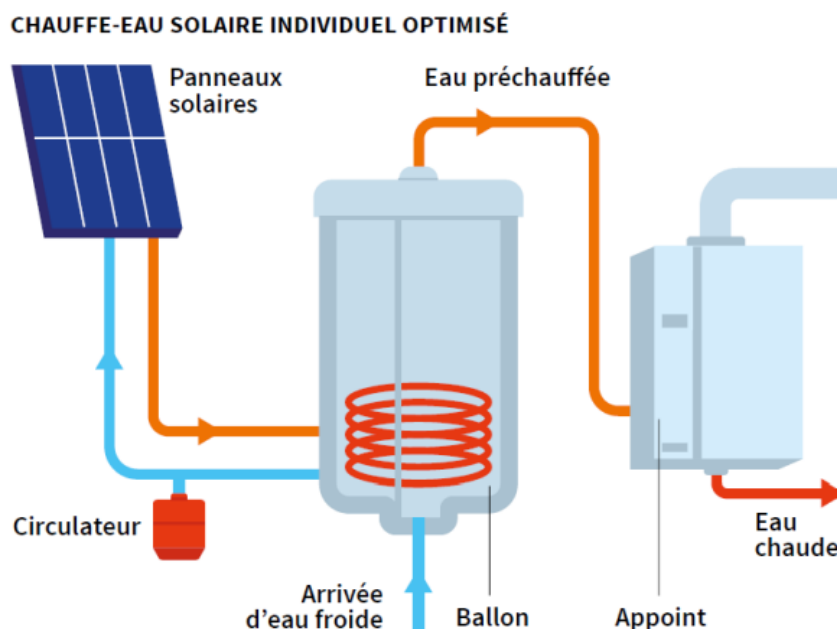


Illustration n°66 : Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire individuel (source : ADEME)

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.

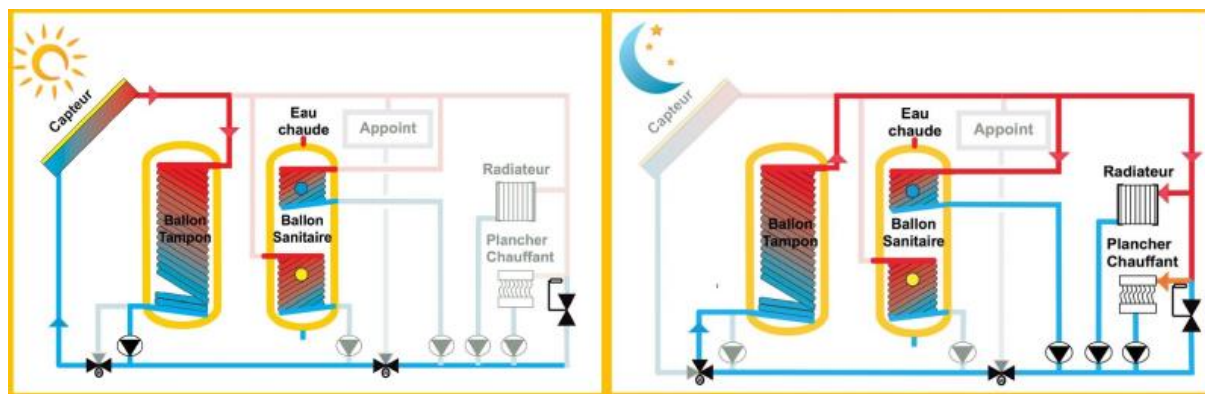


Illustration n°67 : Principe de fonctionnement d'un chauffage solaire (source : Solisart)

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 RT2012 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 **génèrent 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.

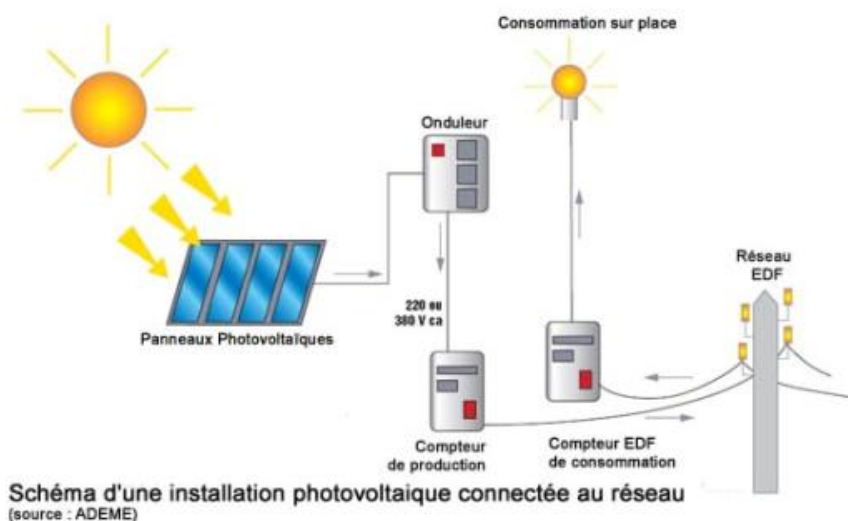


Illustration n°68 : Schéma d'une installation photovoltaïque reliée au réseau (source : ADEME)

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°69 : Panneau solaire multicristallin
(source : conseils-thermiques.org)

Illustration n°70 : 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°71 : 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°72 : 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 surdimensionnés 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.

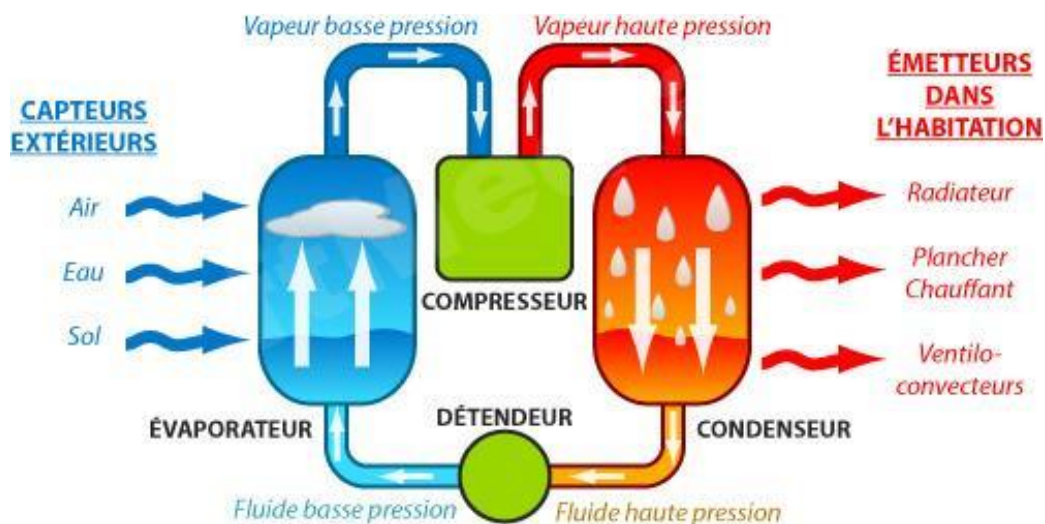


Illustration n°73 : Schéma de principe d'une pompe à chaleur (source : Elyotherm)

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 calorifère.
- 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 **filière 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

Energie éolienne

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.

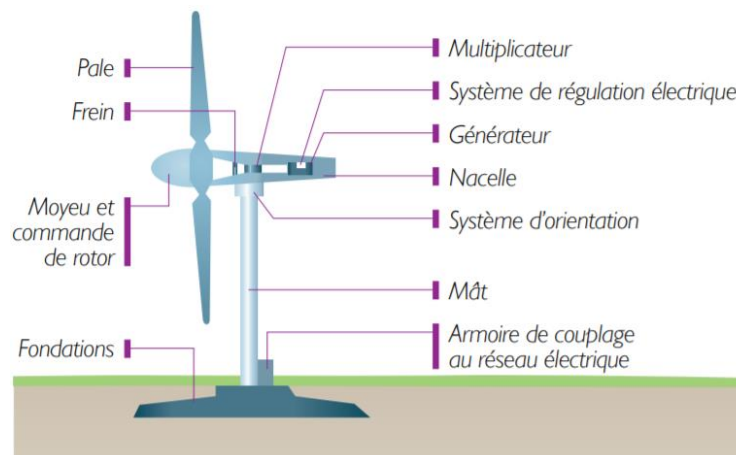


Illustration n°74 : Schéma d'une éolienne (source : ADEME)

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 mât 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°75 : Éolienne urbaine
(source : Wikipedia)



Illustration n°76 : Éolienne à
axe vertical (source :
Wikipedia)



Illustration n°77 : 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

Bois énergie

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 bûche** 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°78 : 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 :	Inconvénients :
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	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

B. Annexe 2 : coût des investissements

Le tableau suivant détaille les investissements pris en compte dans le chiffrage des coûts des différents scénarios.

Logements collectifs :

Scénario	Equipements	Coûts d'investissement
SC1	Chaudière gaz condensation	9 000 € TTC
SC2	Electricité + ballon thermodynamique	7 000 € TTC
SC3	Electricité + ECS collectif	7 900 € TTC
SC4	Chaudière bois granulés	6 700 € TTC
SC5	Chaudière bois granulés + ballon thermodynamique	9 000 € TTC
SC6	Chaudière collective PAC sur sondes géothermiques	11 500 € TTC
SC7	PAC Air/Eau	10 000 € TTC

Logements intermédiaires :

Scénario	Equipements	Coûts d'investissement
SC1	Chaudière gaz condensation	9 500 € TTC
SC2	Electricité + ballon thermodynamique	11 000 € TTC
SC3	Electricité + ECS	11 000 € TTC
SC4	Chaudière bois granulés	8 000 € TTC
SC5	Poêle bois granulés + ballon thermodynamique	12 000 € TTC
SC6	PAC sur sondes géothermiques	16 000 € TTC
SC7	PAC Air/Eau	12 500 € TTC

Maisons individuelles :

Scénario	Equipements	Coûts d'investissement
SC1	Chaudière gaz condensation	10 000 € TTC
SC2	Electricité + ballon thermodynamique	12 500 € TTC
SC3	Electricité + ECS	15 000 € TTC
SC4	Chaudière bois granulés	9 500 € TTC
SC5	Poêle bois granulés + ballon thermodynamique	16 000 € TTC
SC6	PAC sur sondes géothermiques	27 500 € TTC
SC7	PAC Air/Eau	15 500 € TTC

C. Annexe 3 : coût de l'énergie

Les coûts énergétiques pris en compte dans le chiffrage des scénarios d'aménagement reprennent les valeurs à jour en Juillet 2021.

Les taxes sont prises en compte car elles représentent une part significative des factures énergétiques des ménages :

- L'abonnement électricité/gaz est soumis à une TVA à 5,5%.
- Le kWh électricité/gaz est soumis à une TVA à 20%.
- Le bois énergie est soumis à une TVA à 10%.
- Les TCFE/CSPE/TICGN se calculent sur le coût des kWh consommés en incluant la TVA
- La CTA suivant une logique de calcul particulière, on retiendra des hypothèses forfaitaires locales. Elle est soumise à la TVA à hauteur de 5,5%.

Il existe 6 zones tarifaires de gaz numérotées de 1 (la moins chère) à 6 (la plus chère). La zone tarifaire gaz n'influe sur le prix du kWh de gaz naturel que pour les consommations supérieures à 6 000 kWh par an (chauffage au gaz, abonnement B1). Pour les petits consommateurs (abonnement B0), le prix du gaz est identique en tout point du réseau GRDF. La commune de Pont-Scorff est localisée en zone tarifaire gaz 4.

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%.

Energie	Montant (€ HT)	TVA
Electricité – 6 kVA – tarif bleu EDF		
Abonnement 6 kVA	120,57 € HT	5,5%
Prix du kWh unique	0,1318 € HT	20%
Electricité – 9 kVA – tarif bleu EDF		
Abonnement 9 kVA	144,11 € HT	5,5%
Prix du kWh unique	0,1358 € HT	20%
Electricité – 12 kVA – tarif bleu EDF		
Abonnement 12 kVA	167,43 € HT	5,5%
Prix du kWh unique	0,1358 € HT	20%
Taxes appliquées à l'électricité		
Taxe sur la Consommation Finale d'Electricité (TCFE)	20% de la consommation HT	
Contribution au Service Public de l'Electricité (CSPE)	20% de la consommation HT	
Contribution Tarifaire d'Acheminement d'énergie (CTA)	Variable (hypothèse retenue : 16,00 € HT)	5,5%
Granulé bois		
Prix de la tonne livrée en vrac	310 € HT	10%
Gaz naturel – B0 Engie		
Abonnement – B0	96,53 € HT	5,5%
Prix du kWh unique	0,0746 € HT	20%
Gaz naturel – B1 Engie		
Abonnement – B1	236,73 € HT	5,5%
Prix du kWh unique – zone 4	0,0557 € HT	20%
Taxes appliquées au gaz naturel		
Taxe Intérieure de Consommation sur le Gaz Naturel (TICGN)	20% de la consommation HT	
Contribution Tarifaire d'Acheminement d'énergie (CTA)	Variable (hypothèse retenue : 34,00 € HT)	5,5%

D. Annexe 4 : frais de maintenance prix en compte

Le tableau suivant détaille l'origine et le montant des frais de maintenance pris en compte dans le chiffrage des coûts des différents scénarios.

Logements collectifs :

Scénario	Equipements	Opérations de maintenance	Coût annuel de maintenance
SC1	Chaudière gaz condensation	Visite annuelle de contrôle	110 € TTC
SC2	Electricité + ballon thermodynamique	Visite annuelle de contrôle du CET	110 € TTC
SC3	Electricité + ECS	Contrôle périodique + contrôle installations solaires tous les 2 ans	50 € TTC
SC4	Chaudière bois granulés	2 ramonages annuels + entretien du générateur de chaleur	75 € TTC
SC5	Chaudière bois granulés + ballon thermodynamique	2 ramonages annuels + visite annuelle de contrôle du CET	150 € TTC
SC6	PAC sur sondes géothermiques	Visite annuelle de contrôle PAC	100 € TTC
SC7	PAC Air/Eau	Visite annuelle de contrôle PAC	70 € TTC

Logements intermédiaires :

Scénario	Equipements	Opérations de maintenance	Coût annuel de maintenance
SC1	Chaudière gaz condensation	Visite annuelle de contrôle	120 € TTC
SC2	Electricité + ballon thermodynamique	Visite annuelle de contrôle	120 € TTC
SC3	Electricité + ECS	Contrôle périodique + contrôle installations solaires tous les 2 ans	75 € TTC
SC4	Chaudière bois granulés	2 ramonages annuels + entretien du générateur de chaleur	150 € TTC
SC5	Poêle bois granulés + ballon thermodynamique	2 ramonages annuels + visite annuelle de contrôle du CET	200 € TTC
SC6	PAC sur sondes géothermiques	Visite annuelle de contrôle PAC	180 € TTC
SC7	PAC Air/Eau	Visite annuelle de contrôle PAC	100 € TTC

Maisons individuelles :

Scénario	Equipements	Opérations de maintenance	Coût annuel de maintenance
SC1	Chaudière gaz condensation	Visite annuelle de contrôle	150 € TTC
SC2	Electricité + ballon thermodynamique	Visite annuelle de contrôle du CET	150 € TTC
SC3	Electricité + ECS	Contrôle périodique + contrôle installations solaires tous les 2 ans	100 € TTC
SC4	Chaudière bois granulés	2 ramonages annuels + entretien du générateur de chaleur	175 € TTC
SC5	Poêle bois granulés + ballon thermodynamique	2 ramonages annuels + visite annuelle de contrôle du CET	225 € TTC
SC6	PAC sur sondes géothermiques	Visite annuelle de contrôle PAC	250 € TTC
SC7	PAC Air/Eau	Visite annuelle de contrôle PAC	120 € TTC

E. Annexe 5 : 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 propane / 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 /kWh _{PCIef} , ou tCO ₂ /MWh _{PCIef})	
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)

F. Annexe 6 : hypothèses relatives aux émissions polluantes des véhicules

L'évaluation des émissions polluantes liées aux transports dans le futur quartier 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.

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)