

Mauges Communauté

Etudes environnementales du projet de
création de la zone d'activités des
Couronnières 2 - Orée d'Anjou – Liré

Rapport d'étude



EXOCETH (Siège)

 16, rue de Verdun
56380 Guer

 +33 2 97 22 03 30

 www.exoceth.fr

EXOCETH Bretagne	75, rue Jules Janssen - 29490 Guipavas	Tél. +33 6 87 98 30 81
BEST ENERGIES	36, rue Beaumarchais - 93100 Montreuil-sous-Bois	Tél. +33 1 56 93 46 00
BEST ENERGIES Pays de la Loire	8, av. des Thébaudières - BAL 77 Sillon de Bretagne - 44800 St-Herblain	Tél. +33 2 40 85 61 86
BEST ENERGIES Centre - Val de Loire	40, rue Pierre Curie - 37700 St-Pierre-des-Corps	Tél. +33 6 72 76 03 29
EXOCETH CONSULTING	36, rue Beaumarchais - 93100 Montreuil-sous-Bois	Tél. +33 2 97 22 03 30
DEBAT Occitanie	8, av. P. Gilles de Gennes - 81000 Albi	Tél. +33 5 63 76 08 75
Exoceth - SASU au capital de 300 292 € - RCS de Vannes 915 224 166 - N° de TVA FR 16 915 224 166 - APE 7112B		



Affaire Exoceth N°	22089
Maîtrise d'ouvrage	Mauges Communauté
Objet	Etudes environnementales du projet de création de la zone d'activités des Couronnières 2 - Orée d'Anjou - Liré
Mission	Etude EnR
Phase	EnR
Etabli par	MPO
Vérifié par	JDE
Approuvé par	JDE

Date	Indice	Observations
26/01/2023	0	Première version
14/02/2023	A	MAJ
27/02/2023	B	MAJ



Table des matières

1. Introduction.....	6
2. Présentation du territoire.....	7
3. L’implantation géographique de la zone d’étude est la suivante :	8
4. Contexte énergétique.....	9
4.1. Mesures de lutttes contre le réchauffement climatique	9
4.1.1. Au niveau Européen.....	9
4.1.2. Au niveau National	9
4.2. Qu’appelle-t-on énergie renouvelable.....	10
4.3. Etat des lieux des consommations et de la production d’énergie en Pays de la Loire	10
4.3.1. Consommation d’énergie finale en Pays de la Loire.....	10
4.3.2. Production d’énergie renouvelable en Pays de la Loire.....	11
4.3.3. Les émissions de gaz à effet de serre en Pays de Loire	12
5. Gisements énergétiques bruts à l’échelle de la région et du département	13
5.1. Ensoleillement moyen annuel	13
5.1.1. Généralités et potentiel	13
5.1.2. Etat des lieux.....	13
5.1.2.1. Solaire thermique	13
5.1.2.2. Solaire photovoltaïque	14
5.2. Gisement Bois Energie.....	15
5.2.1. Généralités et potentiel	15
5.2.2. Disponibilité de la matière première.....	16
5.2.3. Développement de filières.....	17
5.2.4. Implantations des fournisseurs de bois déchiqueté	17
5.2.5. Etat des lieux des installations	19
5.3. Les déchets organiques valorisables	19
5.3.1. Usine d’incinération des ordures ménagères.....	20
5.3.2. Les unités de méthanisation	20
5.4. La géothermie	21
5.4.1. Rappel sur la technique de géothermie basse énergie.....	21
5.4.2. Potentiel estimatif	22
5.4.3. La géothermie très basse énergie.....	23
5.5. L’aérothermie	24
5.6. La ressource éolienne	24
5.6.1. Potentiel	24
5.6.2. Etat des lieux.....	25
5.7. Production d’électricité hydraulique.....	26
5.7.1. Potentiel	26
5.7.2. Etat des lieux.....	26

6. Gisements énergétiques nets à l'échelle de la zone d'étude	28
6.1. Cadre du projet	28
6.1.1. Description du programme prévisionnel.....	28
6.1.2. Définition du bilan énergétique.....	29
6.1.2.1. Evolution de la réglementation thermique : Label Energie Carbone	29
6.1.3. Estimation des consommations énergétiques.....	30
6.1.4. Estimation des puissances thermiques.....	32
6.2. Scénario de référence	33
6.3. Gisement solaire net.....	34
6.3.1. Description des formes urbaines.....	34
6.3.2. Solaire thermique	36
6.3.2.1. Réseau de chaleur solaire thermique	36
6.3.2.2. Systèmes Solaires Combinés (SSC)	38
6.3.3. Solaire photovoltaïque.....	41
6.4. Le gisement net issu de la valorisation des déchets organiques.....	44
6.4.1. Usine d'incinération des déchets	44
6.4.2. Les unités de méthanisation	44
6.5. Cogénération gaz naturel.....	45
6.5.1. Principe de fonctionnement.....	45
6.5.2. La micro cogénération :.....	45
6.5.3. Tarif de rachat	46
6.6. Le gisement géothermique net.....	46
6.6.1. La géothermie basse énergie (profonde)	46
6.6.2. La géothermie très basse énergie.....	47
6.6.2.1. Géothermie capteurs horizontaux.....	47
6.6.2.2. Géothermie capteurs verticaux	47
6.7. Le gisement aérothermique net.....	49
6.7.1. Compression électrique.....	49
6.7.2. Aérothermie gaz naturel	51
6.8. Récupération d'énergie fatale.....	51
6.9. Le gisement éolien net	52
6.9.1. Vents dominants.....	52
6.9.2. Grand éolien	53
6.9.3. Petit éolien.....	53
6.10. Le gisement bois énergie net	55
6.10.1. Ressources locales	55
6.10.2. Bois granulés.....	57
6.10.3. Chaufferie centrale Bois déchiqueté & réseau de chaleur.....	57
6.11. Le gisement hydroélectrique net.....	60
7. Evolution des coûts énergétiques	61
7.1. Hypothèse de base	61
7.2. Analyse de l'évolution des coûts sur 30 ans	62
8. Emission de CO2 des différentes solutions énergétiques	65

9. Recommandations sur l'éclairage urbain	66
9.1. Etat des lieux.....	66
9.2. Enjeux de l'éclairage urbain	66
9.3. Pollution lumineuse.....	66
9.4. Préconisations	67
10. Les bornes de recharge intégrées au milieu urbain.....	70
10.1. Les voitures électriques en plein essor.....	70
10.2. Les bornes de recharge actuellement en France	70
10.3. Stratégie d'implantation en milieu urbain	71
10.3.1. Obligations à respecter	71
10.3.2. Aides favorisant le respect de ces normes	71
10.3.3. Localisation des bornes en ville	71
11. L'accès au transport en commun	73
11.1. Choix des modes de transport	73
11.1.1. Quelques chiffres sur les déplacements des français.....	73
11.1.2. Possibilité d'amélioration en termes d'accessibilité des transports en commun	74
11.2. Différents facteurs à prendre en compte pour faciliter l'accès et l'utilisation des transports en commun	74
11.2.1. Adapter les horaires et la fréquence	74
11.2.1.1. Identifier les besoins	74
11.2.1.2. Différence week-end/semaine.....	74
11.2.1.3. Vacances scolaires notamment l'été	75
11.2.2. Faire des choix stratégiques de lignes.....	75
11.2.2.1. Positionnement des arrêts : identifier les besoins.....	75
11.2.2.2. Positionnement des terminus.....	75
11.2.2.3. Prendre en compte les habitations aux alentours au niveau de la qualité de vie (bruit/pollution)	76
11.2.3. Des moyens simples pour adapter au mieux le réseau de transport en commun.....	76
11.2.3.1. Consulter les habitants.....	76
11.2.3.2. Mise en place de tests	76
11.3. Ligne Local	76
12. La mobilité douce	77
12.1. Etat actuel.....	77
12.1.1. Adapté sur petites distances	77
12.1.2. Avantages/Inconvénients	77
12.2. Les infrastructures mises en place.....	77
12.2.1. Un réseau important.....	77
12.2.2. Le stationnement.....	77
12.2.2.1. Parcs à vélo.....	77
12.2.2.2. Station de vélo en libre-service	78
12.2.2.3. Vélo en libre-service sans station	78
12.2.3. Le rechargement pour les véhicules électriques (hors voitures).....	78
12.3. Apparition de nouveaux modes de transports	79
13. Synthèse.....	80

Table des illustrations

Figure 1 : Périmètre de l'opération	8
Figure 2 : Consommations d'Energie finale par secteur en 2020	10
Figure 3 : répartition des consommations d'Energie finale par combustibles en 2020	10
Figure 4 : évolution de la production d'électricité renouvelable en pays de la loire	11
Figure 5 : évolution de la production de chaleur renouvelable en pays de la loire	11
Figure 6 : schéma des émission de gaz à effet de serre	12
Figure 7 : émission de gaz à effet de serre par secteur en 2020	12
Figure 8 : répartition par poste des émissions pour la scope 2 & 3 en 2014.....	12
Figure 9 : Ensoleillement global et potentiel photovoltaïque (avec panneaux inclinés selon un angle optimal). Source : PVGIS	13
Figure 10 : production d'Energie solaire thermique	13
Figure 11 : évolution de la puissance photovoltaïque raccordée.....	14
Figure 12 : l'évolution de la production d'électricité photovoltaïque	15
Figure 13 : SURFACES FORESTIERES	15
Figure 14 : provenance du bois Energie	16
Figure 15 : évolution de la consommation de bois.....	17
Figure 16 : Schéma de principe de la récolte des TTCR	17
Figure 17 : Plateforme de stockage en fonctionnement 2022 - source : teo-paysdelaloire.fr	18
Figure 18 : localisations des chaudières bois	19
Figure 19 : Unités de Valorisation Energétique (UVE) des déchets en Pays de la Loire en fonctionnement en 2020.	20
Figure 20 : installations de valorisation de biogaz en fonctionnement au 1er septembre 2022	20
Figure 21 : bilan énergétique en fonction des typologies.....	21
Figure 22 : Principe du réseau de chaleur sur aquifère profond - source : Le Moniteur	22
Figure 23 : Carte des massifs français - source : BRGM.....	22
Figure 24 : Géothermie très basse énergie - source : chauffage SOBRECO	23
Figure 25 : Aérothermie - source : chauffage SOBRECO	24
Figure 26 : vitesse moyenne a 90 m en m/s	24
Figure 27 : Eolienne	25
Figure 28 : Puissance éolienne en fonctionnement	25
Figure 29 : Installations éoliennes (Rouge) et zones favorables à l'éolien (Violet)	26
Figure 30 : potentiel hydraulique.....	27
Figure 31 : L'évolution de la puissance installée hydroélectricité raccordée au réseau	27
Figure 32 : Evolution de la production d'électricité Hydroélectricité (GWh).....	27
Figure 33 : Plan de masse du projet	28
Figure 34 : Niveaux des performances énergétiques du Label Energie Carbone	30
Figure 35 : Répartition des dépenses énergétiques annuelles.....	34
Figure 36 : Apports solaires	34
Figure 37 : Facteur de correction solaire	35
Figure 38 : Evolution annuel de l'ensoleillement à Liré – Source : PVGIS	35
Figure 39 : Principe des masques proches.....	36
Figure 40 : Ombres projetées sur un terrain plat	36
Figure 41 : Solaire thermique – Source : republicain-lorrain.fr	36
Figure 42 : Taux de couverture d'un SSC	38
Figure 43 : Concentrateurs solaires paraboliques	39
Figure 44 : Chauffe-eau solaires sur un bâtiment industriel	39
Figure 45 : Principe du chauffe-eau solaires	39
Figure 46 : Principe du solaire photovoltaïque.....	41
Figure 47 : Evolution du tarif de rachat du photovoltaïque	42
Figure 48 : Installations de valorisation de biogaz en fonctionnement au 1er septembre 2022.....	44
Figure 49 : Principe de la cogénération gaz	45
Figure 50 : Roof-Top	50
Figure 51 : Principe de l'aérothermie au gaz naturel	51
Figure 52 : Direction et répartition de la force du vent.....	52
Figure 53 : Zones favorables au développement de l'éolien (Rouge)	53

Figure 54 : Fournisseur de bois – Source : fibois - pays de la loire.....	56
Figure 55 : Chaufferie bois.....	58
Figure 56 : Principe d'une chaufferie bois.....	58
Figure 57 : Silos enterrés.....	59
Figure 58 : Potentiel hydroélectrique dans la zone d'étude.....	60
Figure 59 : Evolution des couts énergétiques.....	62
Figure 60 : Cumul des couts énergétiques.....	63
Figure 61 : Evolution des couts énergétiques.....	64
Figure 62 : Bilan des émissions de co2.....	65
Figure 63 : Principe de la pollution lumineuse.....	66
Figure 64 : Evolution de la pollution lumineuse.....	67
Figure 65 : Orientation des luminaires.....	67
Figure 66 : Type de luminaires.....	68
Figure 67 : Eclairage passif.....	69
Figure 68 : Eclairage a l'énergie solaire.....	69
Figure 69 : Borne de recharge : Source Izivia, Groupe EDF.....	70
Figure 70 : Proportion de places de parking disposant d'une borne de recharge électrique à respecter.....	71
Figure 71 : Répartition des lieux d'implantation de bornes de recharge.....	72
Figure 72 : Répartition des types de recharge implantée en France.....	72
Figure 73 : Tableau des différents types de lieux associés à leur type de borne idéale.....	72
Figure 74 : Modes de transport utilisés par les usagers des transports en commun.....	73
Figure 75 : Horaires de fréquentation du métro à paris en semaine.....	74
Figure 76 : Comparaison de la fréquentation du métro de paris en semaine et le week-end.....	74
Figure 77 : Lignes régulières - Source : Aleop.....	76
Figure 78 : Espaces Veligo en Ile de France permettant le stationnement sécurisé des vélos.....	77
Figure 79 : Station de vélo à Sophia Antipolis.....	78
Figure 80 : Vélos en libre-service dans Paris.....	78
Figure 81 : Exemple d'une borne de recharge pour vélo à assistance électrique (marque VAE ALTAO).....	79
Figure 82 : Exemple d'une borne de recharge Bosch installées dans un lieu touristique.....	79
Figure 83 : Nouveaux modes de transport en ville.....	79
Figure 84 : Dépense annuel lors de la première année.....	81
Figure 85 : Consommations de combustibles.....	82



1. Introduction

L'objet de ce document est de réaliser une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables dans le cadre des études préalables de la création de la ZA des Courronnières² sur la commune d'Orée d'Anjou (49).

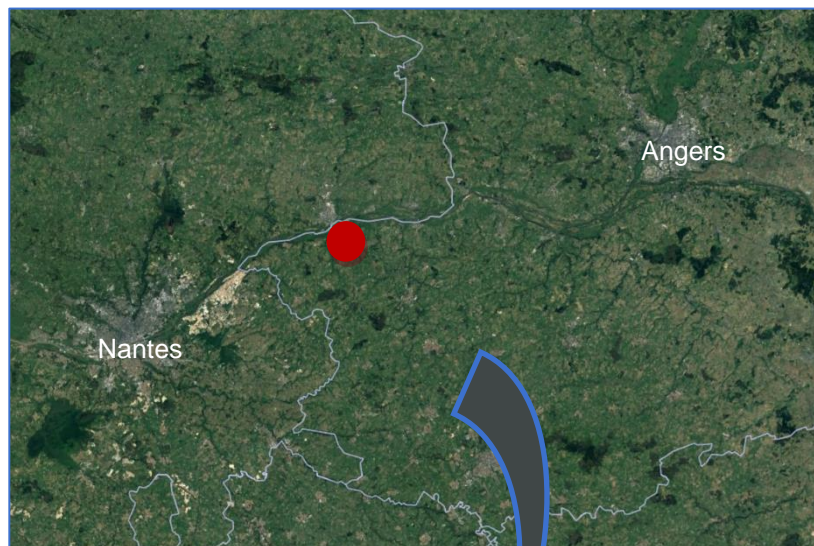
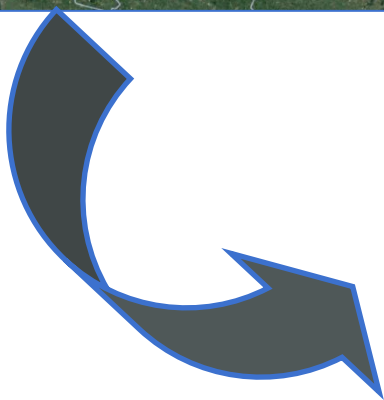
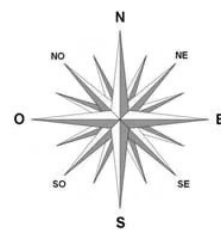
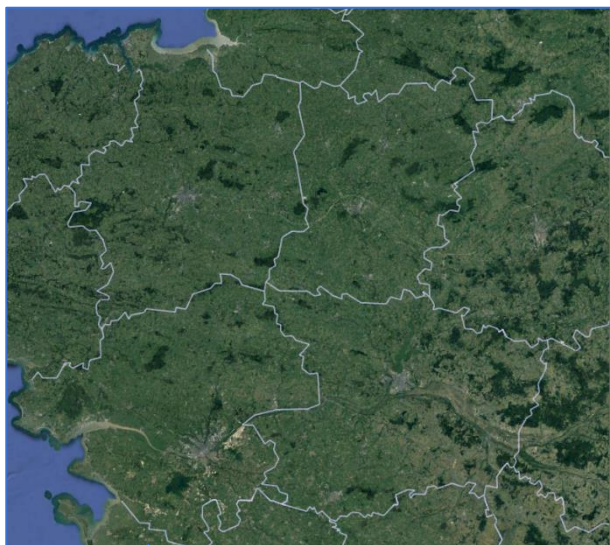
Cette étude entre dans le cadre de l'article 8 de la loi n° 2009-967 du 3 août 2009, créant l'article L. 128-4 dans le code de l'urbanisme :

« Toute action ou opération d'aménagement telle que défini 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 ».

A compter du 1er octobre 2019, l'article R. 122-5 du code de l'environnement est ainsi modifié :

« Pour les actions ou opérations d'aménagement devant faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone en application de l'article L. 300-1 du code de l'urbanisme, l'étude d'impact comprend, en outre, les conclusions de cette étude et une description de la façon dont il en est tenu compte. »

2. Présentation du territoire



3. L'implantation géographique de la zone d'étude est la suivante :

La population totale de la commune d'Orée d'Anjou est estimée selon l'INSEE à 16 468 habitants (2020) et sa superficie est de 156 km², soit une densité d'environ 105 hab/km².

La commune est bordée :

- ▶ Au nord par les communes de Cellier, Oudon, Ancenis-Saint-Géréon, Vair-sur-Loire,
- ▶ À l'est par la commune de Mauges-sur-Loire,
- ▶ Au sud par la commune de Montrevault-sur-Evre, La Boissière-du-doré, Remaudière,
- ▶ À l'ouest par la commune de Loroux-Bottreau, Divatte-sur-Loire.

Le périmètre de l'opération couvre une surface d'environ 3.9 ha, délimité sur la vue aérienne ci-dessous :

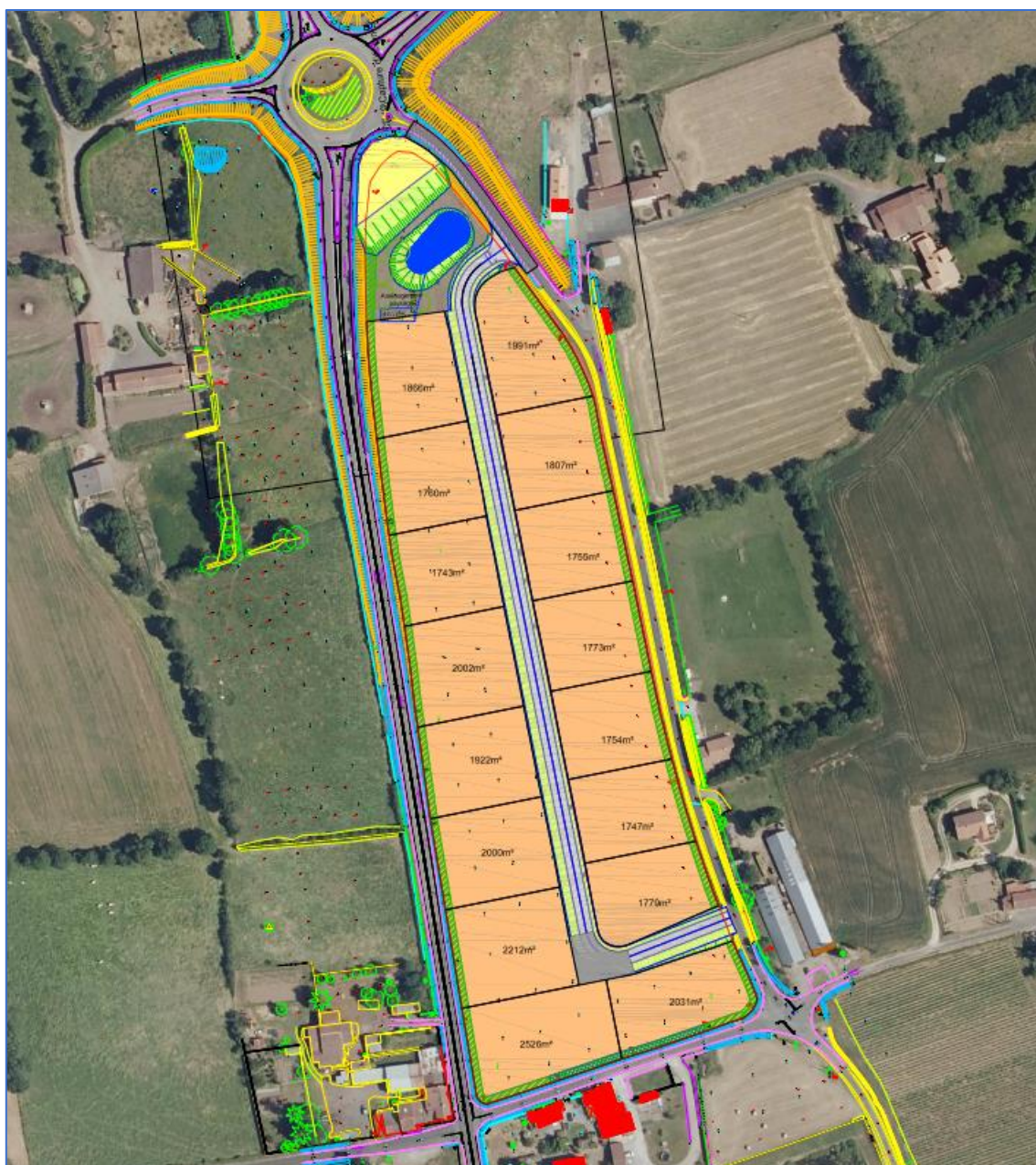


FIGURE 1 : PERIMETRE DE L'OPERATION

4. Contexte énergétique

4.1. Mesures de lutttes contre le réchauffement climatique

4.1.1. Au niveau Européen

La conférence de Paris de 2015 sur les changements climatiques est le premier accord universel pour le climat à avoir été approuvé à l'unanimité par les 196 délégations (195 états + l'union européenne). En 2016, l'accord de Paris (COP21) est entré officiellement en vigueur. Le seuil des ratifications (55 états représentant 55 % des émissions de gaz à effet de serre) a été atteint.

Avec l'adoption du Paquet Énergie-Climat 2030 en octobre 2014, l'Union européenne a conclu un accord solide et collectif la plaçant à la pointe de la transition énergétique mondiale et lui permettant de contribuer au succès de la Conférence de Paris. Ses objectifs s'articulent en trois temps :

- ▶ Un engagement de court terme : la réduction de ses émissions de gaz à effet de serre de 40% d'ici 2030, par rapport à 1990.
- ▶ Un objectif de moyen terme : la diminution des émissions de 80 à 95% d'ici 2050, par rapport à 1990.
- ▶ Un objectif de long terme : 0 émission nette d'ici 2100, pour garantir une trajectoire d'augmentation maximale de 2°C de la température.

Le cadre énergie climat favorise la transition énergétique notamment par :

- ▶ Un objectif de 27% d'énergies renouvelables dans le mix énergétique d'ici 2030 ;
- ▶ Un objectif de 27% d'économies d'énergies d'ici 2030 ;
- ▶ Un soutien significatif aux États-membres, en particulier aux moins avancés, pour investir dans l'innovation et des projets concrets, grâce au mécanisme "NER 400", un nouveau fonds de modernisation, géré par les États membres avec le soutien de la BEI, et la redistribution de 10 % des quotas carbone aux États membres ayant un PIB inférieur à 90 % de la moyenne européenne

4.1.2. Au niveau National

La France s'est fixé deux objectifs principaux en lien avec la loi transition énergétique pour la croissance verte, qui sont :

- ▶ 40% de réduction de ses émissions d'ici à 2030 par rapport au niveau de 1990,
- ▶ 75% de réduction de ses émissions d'ici à 2050 par rapport au niveau de 1990.

Pour ce faire, elle s'est engagée sur l'évolution du mix énergétique :

- ▶ Porter à 40% la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale en 2030,
- ▶ Réduire de 50% la consommation énergétique à l'horizon 2050.

La France s'est donc donné les orientations stratégiques à court terme (2015 – 2028) pour mettre en œuvre dans tous les secteurs d'activité la transition vers une économie bas-carbone

- ▶ Réduction de 54% des émissions dans le secteur du bâtiment, dans lequel les gisements de réduction des émissions sont particulièrement importants : déploiement des bâtiments à très basse consommation, accélération des rénovations énergétiques, écoconception, compteurs intelligents ;
- ▶ Réduction de 29% des émissions dans le secteur des transports : amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules (véhicule consommant 2L /100 km), développement des véhicules propres (voiture électrique, biocarburants, etc.) ;
- ▶ Réduction de 12% des émissions dans le secteur de l'agriculture grâce au projet agro-écologique : méthanisation, couverture des sols, maintien des prairies, développement de l'agroforesterie, optimisation de l'usage des 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, promotion du réemploi et meilleure valorisation des déchets.

4.2. Qu'appelle-t-on énergie renouvelable

Définition :

« Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humaine ».

Les énergies renouvelables identifiables sont : éolienne, solaire, géothermique, houlomotrice, marémotrice et hydraulique ainsi que l'énergie issue de la biomasse. On englobe aussi dans les énergies renouvelables les flux de déchets organiques de l'activité économique qui peuvent donner lieu à une valorisation énergétique : déchets de l'agriculture et de l'exploitation forestière, part fermentescible des déchets industriels et des ordures ménagères.

4.3. Etat des lieux des consommations et de la production d'énergie en Pays de la Loire

4.3.1. Consommation d'énergie finale en Pays de la Loire

La région Pays de la Loire a présenté une consommation d'énergie finale totale de 82 TWh en 2020 pour les secteurs résidentiels, tertiaires, les transports, l'industrie et l'agriculture.

Le secteur le plus consommateur d'énergie en Pays de la Loire est le transport routier (environ 33% des consommations), suivi du résidentiel, de l'industrie et du tertiaire, comme l'illustre le graphique ci-dessous.

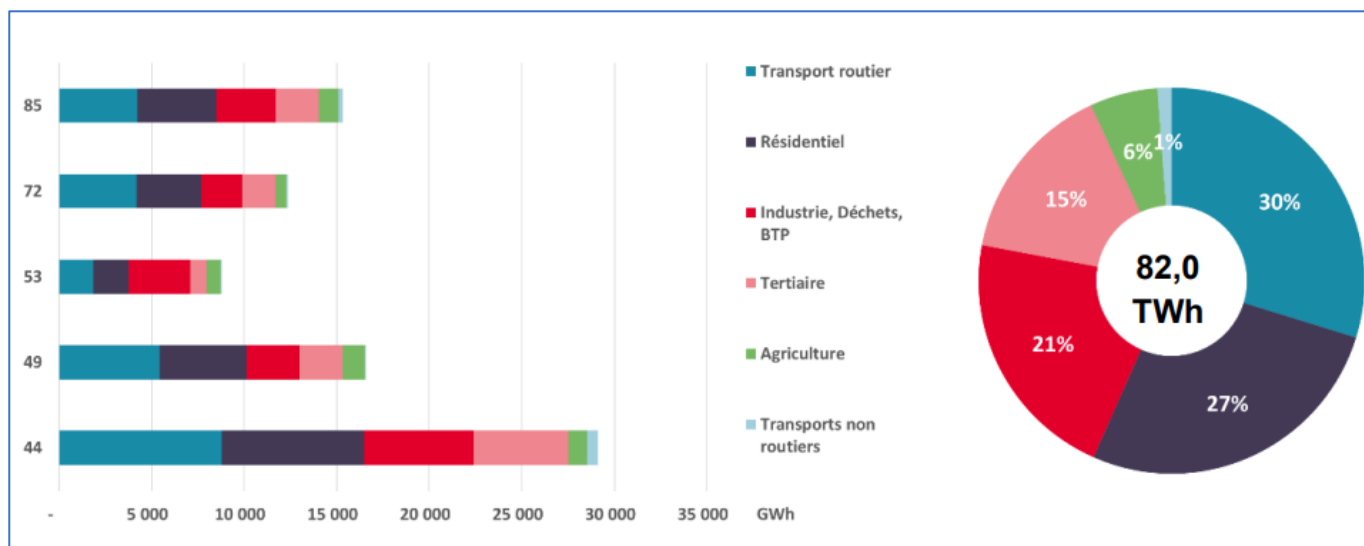


FIGURE 2 : CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE FINALE PAR SECTEUR EN 2020

Les produits pétroliers sont le combustible le plus utilisé en raison de l'importance du secteur du transport routier. Le graphique suivant détaille les différents combustibles utilisés.

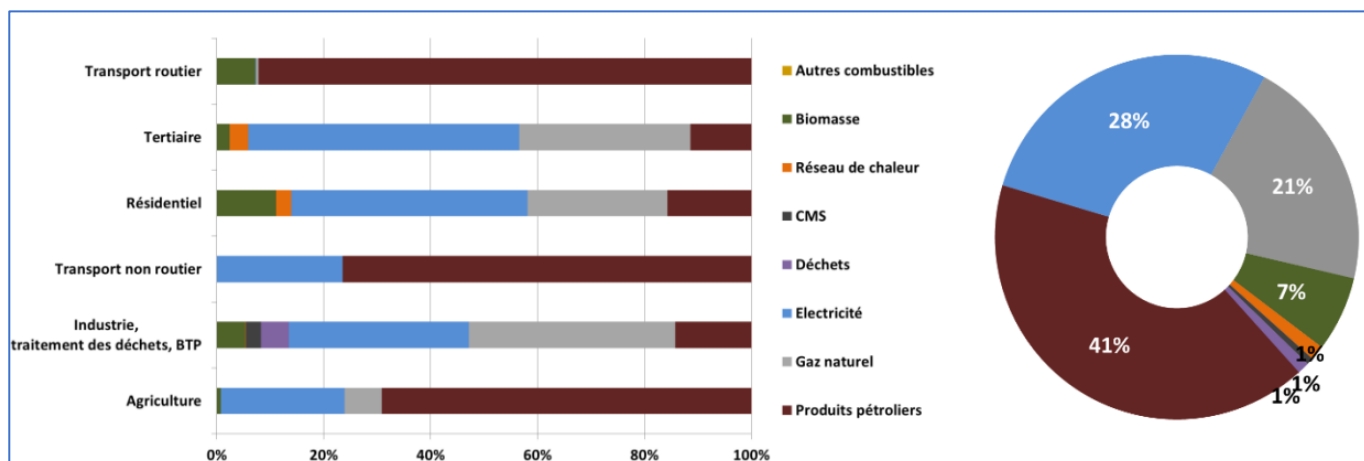


FIGURE 3 : RÉPARTITION DES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE FINALE PAR COMBUSTIBLES EN 2020

La consommation finale d'énergie en Pays de la Loire par habitant a connu une diminution de l'ordre de 16.5% entre 2008 et 2020. La consommation globale a diminué de 9%. Il est important de rappeler que l'année 2020 a toutefois été impactée par la baisse d'activité conséquente à la crise de la Covid-19.

4.3.2. Production d'énergie renouvelable en Pays de la Loire

La part des consommations finales produite par des sources d'énergies renouvelables s'élève à environ 773 Ktep en 2016 soit environ 10 % de la consommation totale. La part de la production d'énergie renouvelable est de 14% cette même année.

La production d'énergie renouvelable se décompose en 2 parties :

- ▶ La production d'électricité,
- ▶ La production de chaleur.

On note que cette production d'électricité renouvelable est multipliée par 5,3 entre 2008 et 2020. La filière éolienne est la plus développée. Le graphique ci-dessous illustre l'évolution de la production d'énergie renouvelable.

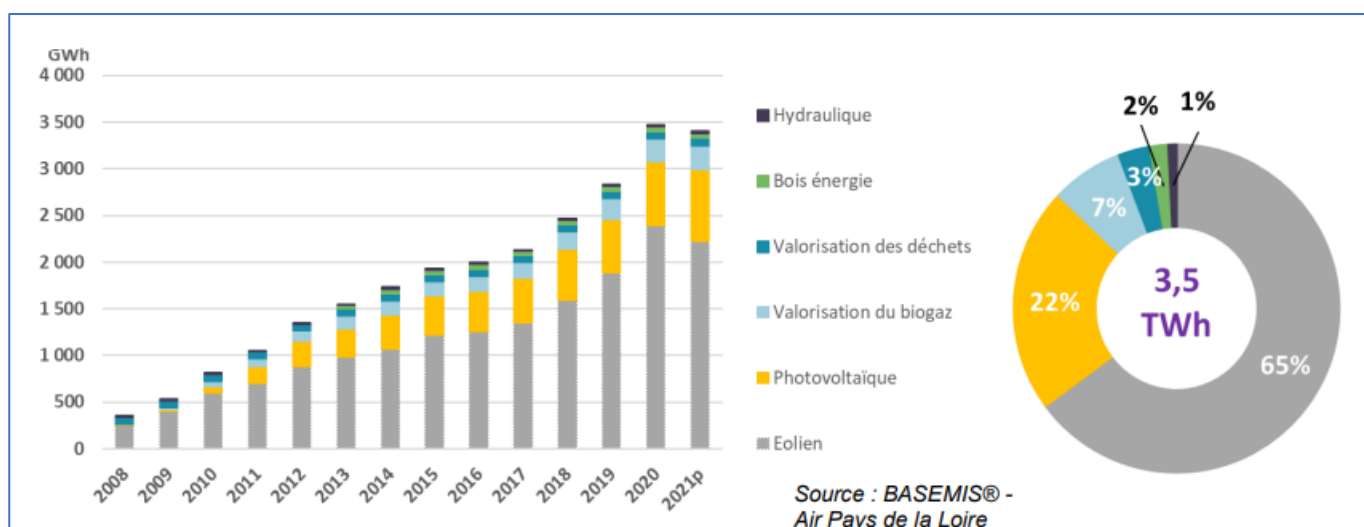


FIGURE 4 : EVOLUTION DE LA PRODUCTION D'ELECTRICITE RENOUVELABLE EN PAYS DE LA LOIRE

La production de chaleur d'origine renouvelable provient majoritairement du Bois énergie (49%).

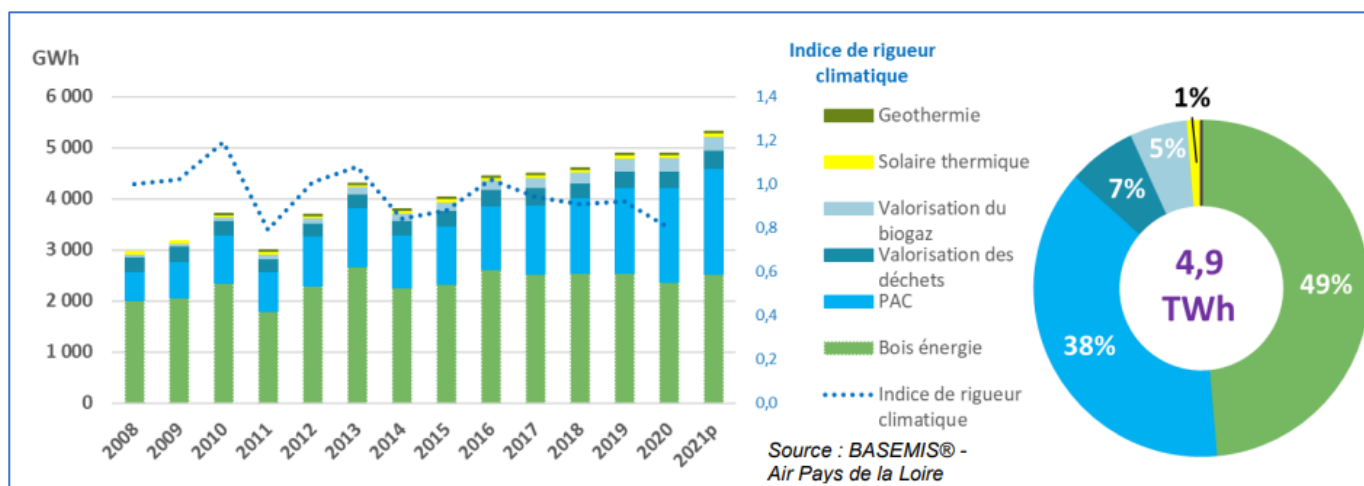


FIGURE 5 : EVOLUTION DE LA PRODUCTION DE CHALEUR RENOUVELABLE EN PAYS DE LA LOIRE

La région ces donnée pur objectif d'atteindre une production de 55% en 2050.

4.3.3. Les émissions de gaz à effet de serre en Pays de Loire

La consommation d'énergie finale a engendré 31,0 Mteq de dioxyde de carbone (CO₂) en 2016 soit 8,3 teq CO₂ par habitant. La moyenne en France est de 6,3 teq CO₂ par habitant.

Les émissions de gaz à effet de serre peuvent être séparées en deux catégories :

- ▶ Direct : Scope 1
- ▶ Indirect : Scope 2 (émissions liées à la combustion de produits énergétiques à des fins de production d'électricité, de chaleur ou de froid) & 3 (les autres émissions dont les acteurs d'un territoire peuvent se voir attribuer la responsabilité sans qu'elles n'aient lieu sur le dit territoire)

Les différents types d'émissions sont illustrés ci-dessous :

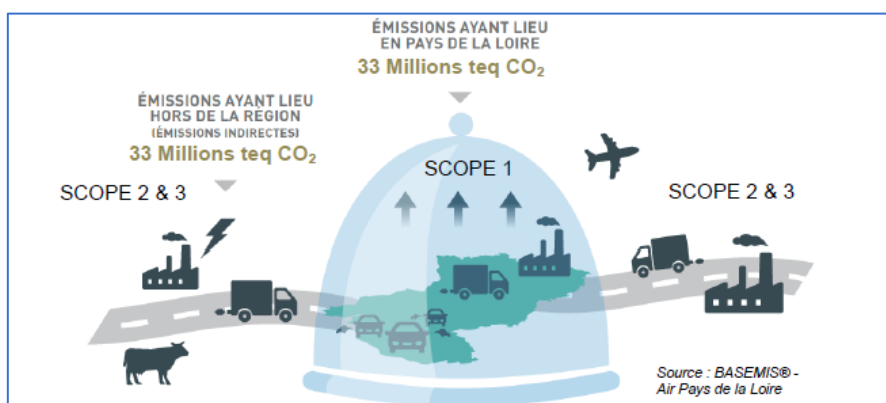


FIGURE 6 : SCHEMA DES EMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE

Les émissions directes proviennent majoritairement de l'agriculture, avec 32% des émissions, contre 21% au niveau national. Le graphique ci-dessous détaille les émissions de gaz à effet de serre en 2020.

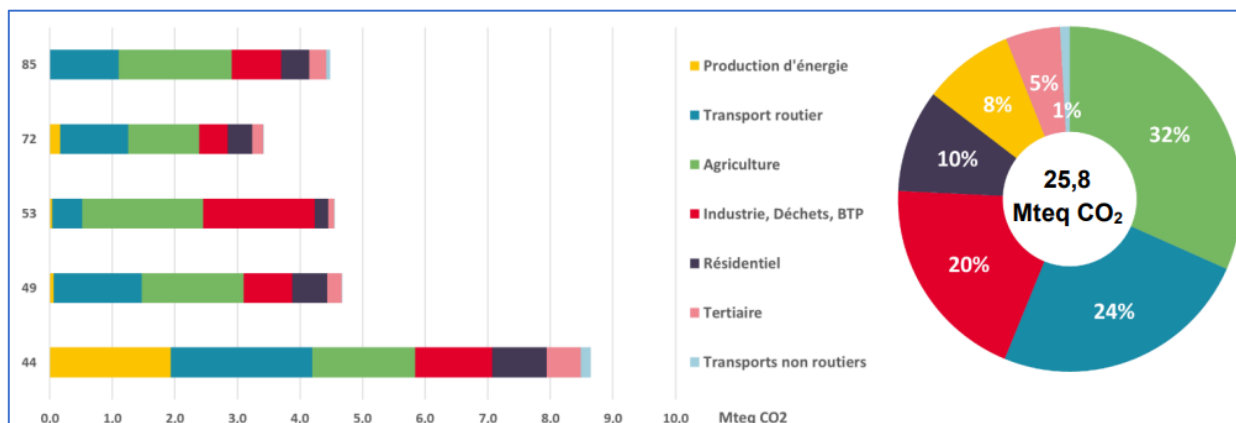


FIGURE 7 : EMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE PAR SECTEUR EN 2020

Les émissions de gaz à effet de serre indirectes de la scope 2 sont de 2 MteqCO₂ et de 31 MteqCO₂ pour la scope 3. La répartition en 2014 pour la scope 2 & 3 est la suivante :

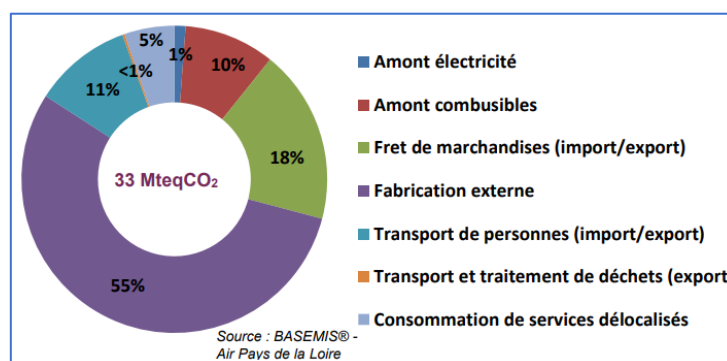


FIGURE 8 : REPARTITION PAR POSTE DES EMISSIONS POUR LA SCOPE 2 & 3 EN 2014

5. Gisements énergétiques bruts à l'échelle de la région et du département

5.1. Ensoleillement moyen annuel

5.1.1. Généralités et potentiel

L'énergie solaire est une énergie inépuisable et gratuite.

Cette énergie peut être exploitée pour produire de l'eau chaude sanitaire, de l'électricité, ou encore alimenter un circuit de chauffage.

La région Pays de la Loire présente un ensoleillement annuel de 1824 heures en moyenne. Un mètre carré de capteur reçoit alors sur sa surface, une quantité d'énergie entre 1300 et 1550 kWh/m².an.

Pour une installation solaire photovoltaïque, on estime qu'un champ de capteurs d'une puissance de 1kWcrête produira en moyenne entre 975 et 1160 kWh sur l'année.

Pour une installation de chauffe-eau solaire, une installation correctement dimensionnée assurera un taux de couverture solaire de l'ordre de 50 - 60% des besoins.

La réalisation d'une centrale solaire asservissant un réseau de chaleur est envisageable, mais présente des coûts très importants et dont la technique reste expérimentale en France.

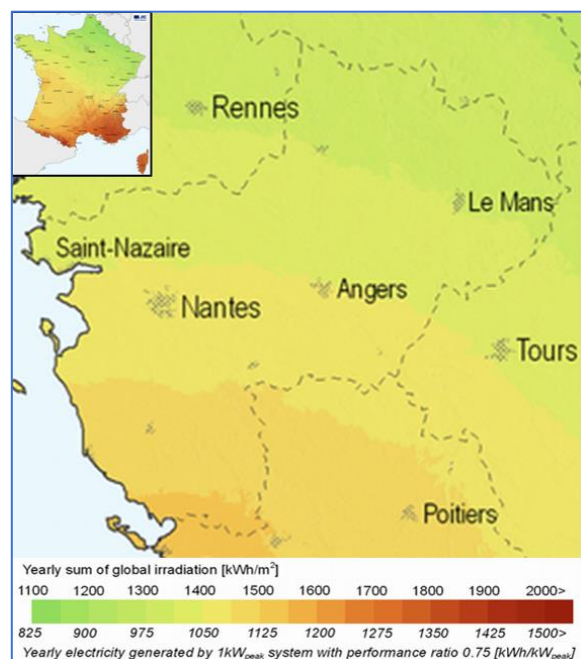


FIGURE 9 : ENSOLEILLEMENT GLOBAL ET POTENTIEL PHOTOVOLTAÏQUE (AVEC PANNEAUX INCLINÉS SELON UN ANGLE OPTIMAL). SOURCE : PVGIS

5.1.2. Etat des lieux

5.1.2.1. Solaire thermique

Le solaire thermique est une solution de production d'énergie (eau chaude sanitaire majoritairement) qui connaît un fort développement en Région Pays de la Loire depuis quelques années.

Cette évolution s'est manifestée au niveau des particuliers comme des collectivités. En effet, on remarque l'augmentation à la fois des CESI (Chauffe Eau Solaire Individuel), mais également des CES (Chauffe Eau Solaire collectif) ou alors des installations de plusieurs CESI dans des bâtiments collectifs.

L'évolution temporelle de la production d'énergie d'origine solaire thermique en région Pays de la Loire est la suivante :

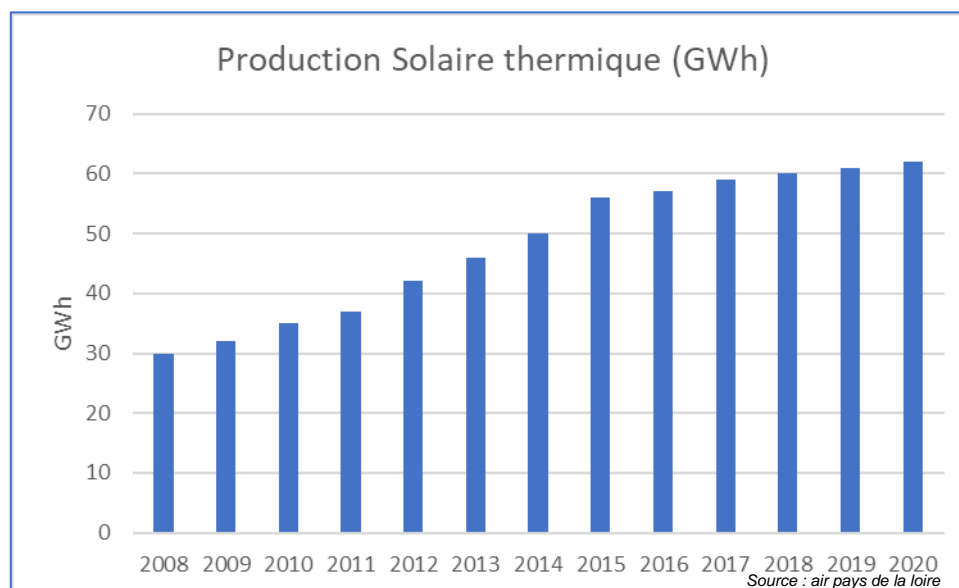


FIGURE 10 : PRODUCTION D'ÉNERGIE SOLAIRE THERMIQUE

On assiste à une nette stabilisation de la production solaire thermique depuis 2017, elle se stabilise à environ 60 GWh.

5.1.2.2. Solaire photovoltaïque

La carte ci-dessous montre l'évolution de la puissance photovoltaïque raccordée au réseau ERDF dans les Pays de la Loire ces dernières années :

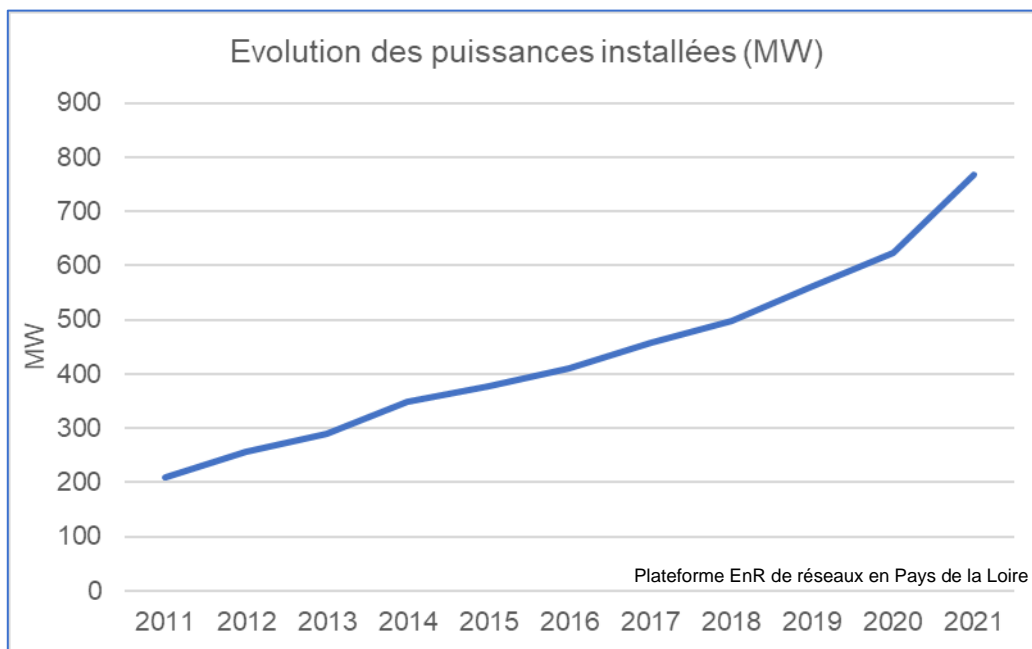


FIGURE 11 : EVOLUTION DE LA PUISSANCE PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDEE

La Vendée seule présente environ le tiers de la puissance totale installée sur la région.

Les Pays de la Loire sont au cinquième rang des régions métropolitaines françaises en termes de puissance installée, derrière les régions méridionales.

La carte ci-dessous montre l'évolution de la production d'électricité d'origine photovoltaïque en région pays de la Loire des dernières années (en GWh).

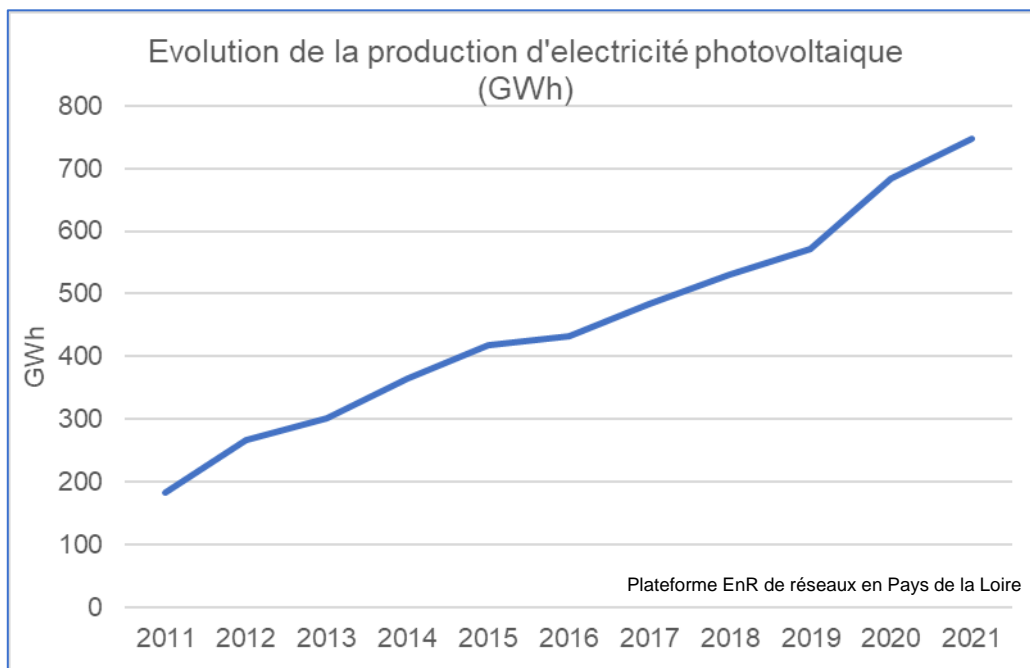


FIGURE 12 : L'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ PHOTOVOLTAÏQUE

La production de photovoltaïque est passée de 209 GWh en 2011 à presque 750 GWh en 2021.

5.2. Gisement Bois Energie

5.2.1. Généralités et potentiel

La France est un pays où le potentiel forestier augmente constamment.

La région Pays de la Loire une région présentant un fort potentiel avec un taux de boisement de l'ordre de 12% ce qui représente une surface forestière de l'ordre de 390 000 hectares.

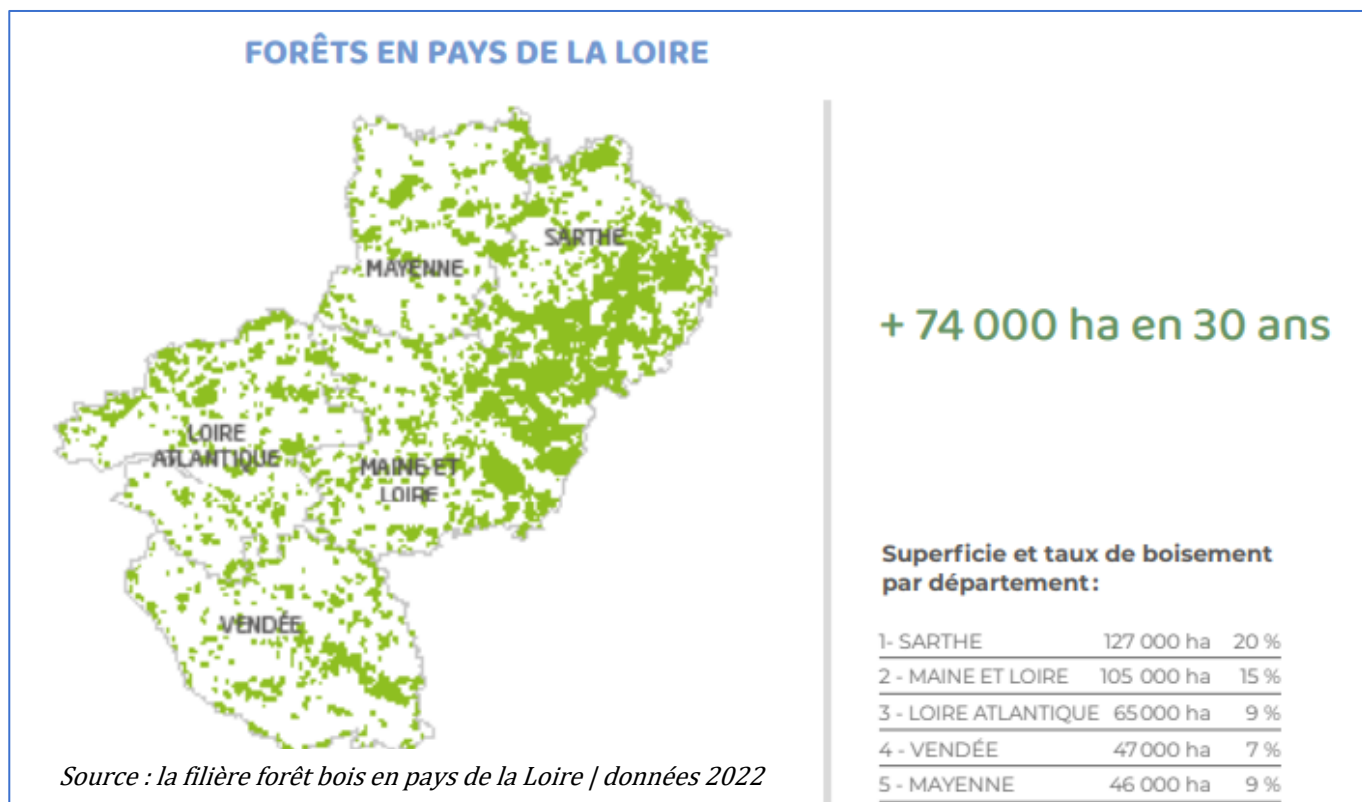


FIGURE 13 : SURFACES FORESTIERES

L'intérêt environnemental du Bois-Energie est que la combustion du bois n'est pas considérée comme émettrice de CO2, car ce CO2 rejeté à la combustion est absorbé lors de la croissance du bois, créant ainsi un cycle.

La ressource ligneuse utilisable pour l'énergie peut provenir de trois filières :

- ▶ Les produits de la forêt en massif, des haies bocagères et des arbres d'alignement.
- ▶ Les produits connexes des industries du bois.
- ▶ Les déchets industriels banals de bois (DIB) qui sont les résidus de bois propres issus des filières de récupération de déchets (emballages usagés, les objets en fin de vie, palettes, refus de compost...).

Les quantités de bois énergie provenant des forêts et autres peuplements estimées pour la région Pays de Loire sont les suivantes :

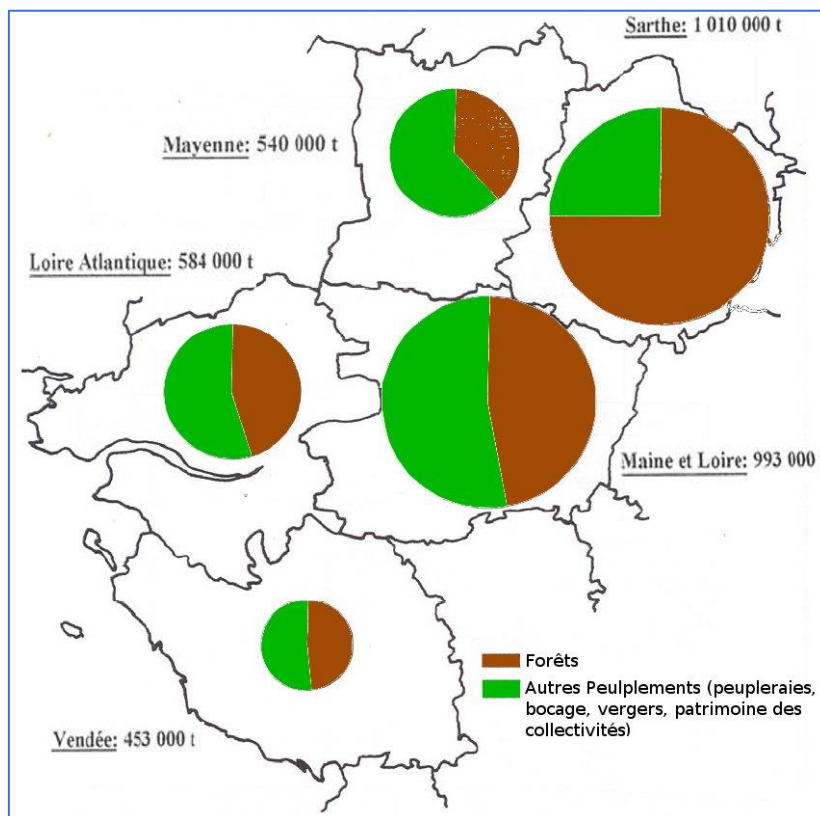


FIGURE 14 : PROVENANCE DU BOIS ENERGIE

Une grande partie du combustible est également issue de la valorisation des déchets bois (Elagage, chutes de scieries, anciennes palettes, ...).

L'approvisionnement en combustible en région Pays de la Loire, soit par la filière multi-produits, soit par la filière locale, est relativement bien structuré.

5.2.2. Disponibilité de la matière première

Depuis 2014, la récolte de bois dans la région avoisine le million de m³ de bois. La part dédiée au bois énergie varie entre 200 et 300 mille m³ de bois.

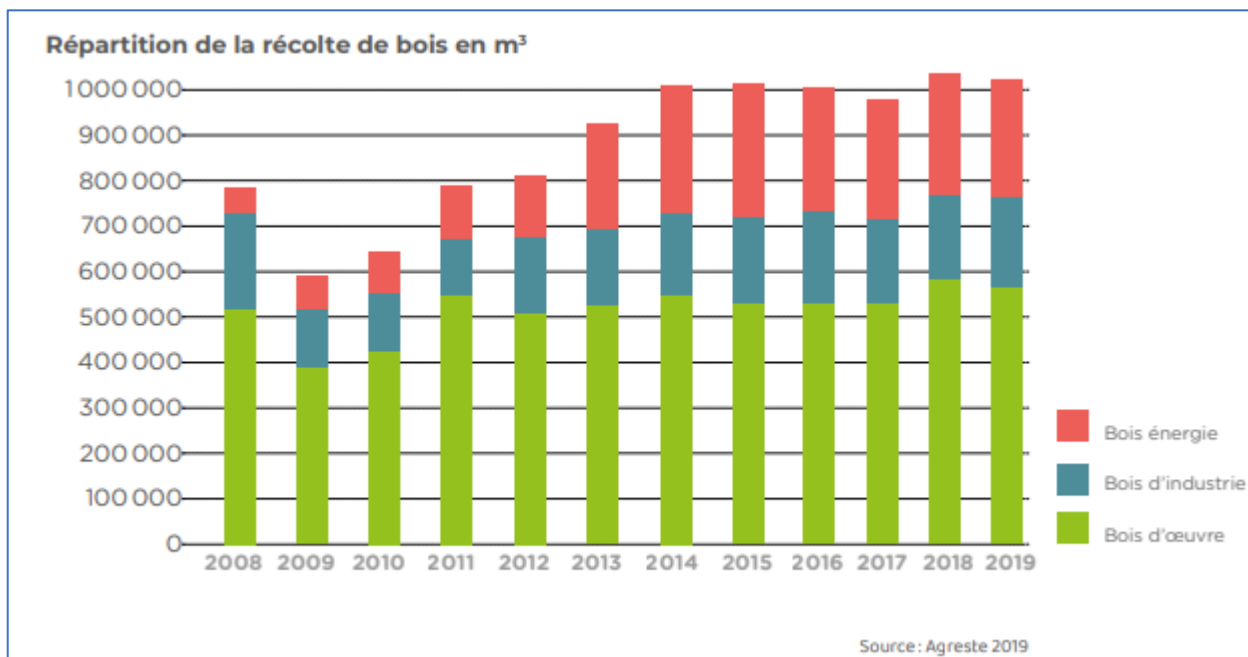


FIGURE 15 : EVOLUTION DE LA CONSOMMATION DE BOIS

5.2.3. Développement de filières

D'autre part, le développement d'une filière de production (cultures TTCR (Taillis Très Courte Rotation), entretien du bocage) et distribution est parfois favorisé par les collectivités locales.

Ces initiatives engendrent des investissements complémentaires (création de plateformes, location de matériel, etc.) mais permettent de mieux maîtriser et de pérenniser l'approvisionnement dans le cadre d'un développement économique local (création d'emploi).

La culture de TTCR de type saule par exemple, présente les caractéristiques de fonctionnement suivantes :

- Récolte tous les 3 ans en hiver, sur une période de 20 ans environ,
- 1 ha permet de produire environ 10 tonnes de matière sèche par an,
- 1 ha permet de substituer 12 tonnes de CO₂ en comparaison avec du fioul,
- 1 ha permet potentiellement la plantation d'environ 15 000 boutures.

L'illustration ci-dessous présente le principe de la récolte du TTCR :

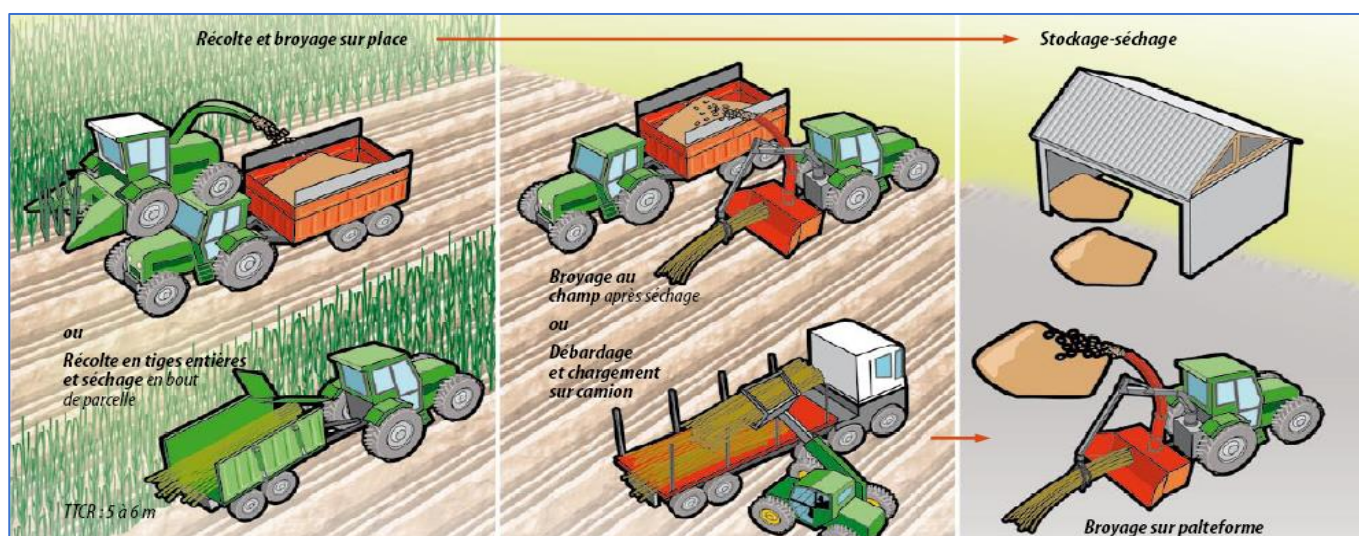


FIGURE 16 : SCHEMA DE PRINCIPE DE LA RECOLTE DES TTCR

5.2.4. Implantations des fournisseurs de bois déchiqueté

Les différents fournisseurs de bois sont répartis géographiquement sur la carte située ci-dessous, selon leur capacité de production et la nature des plaquettes de bois distribuées :

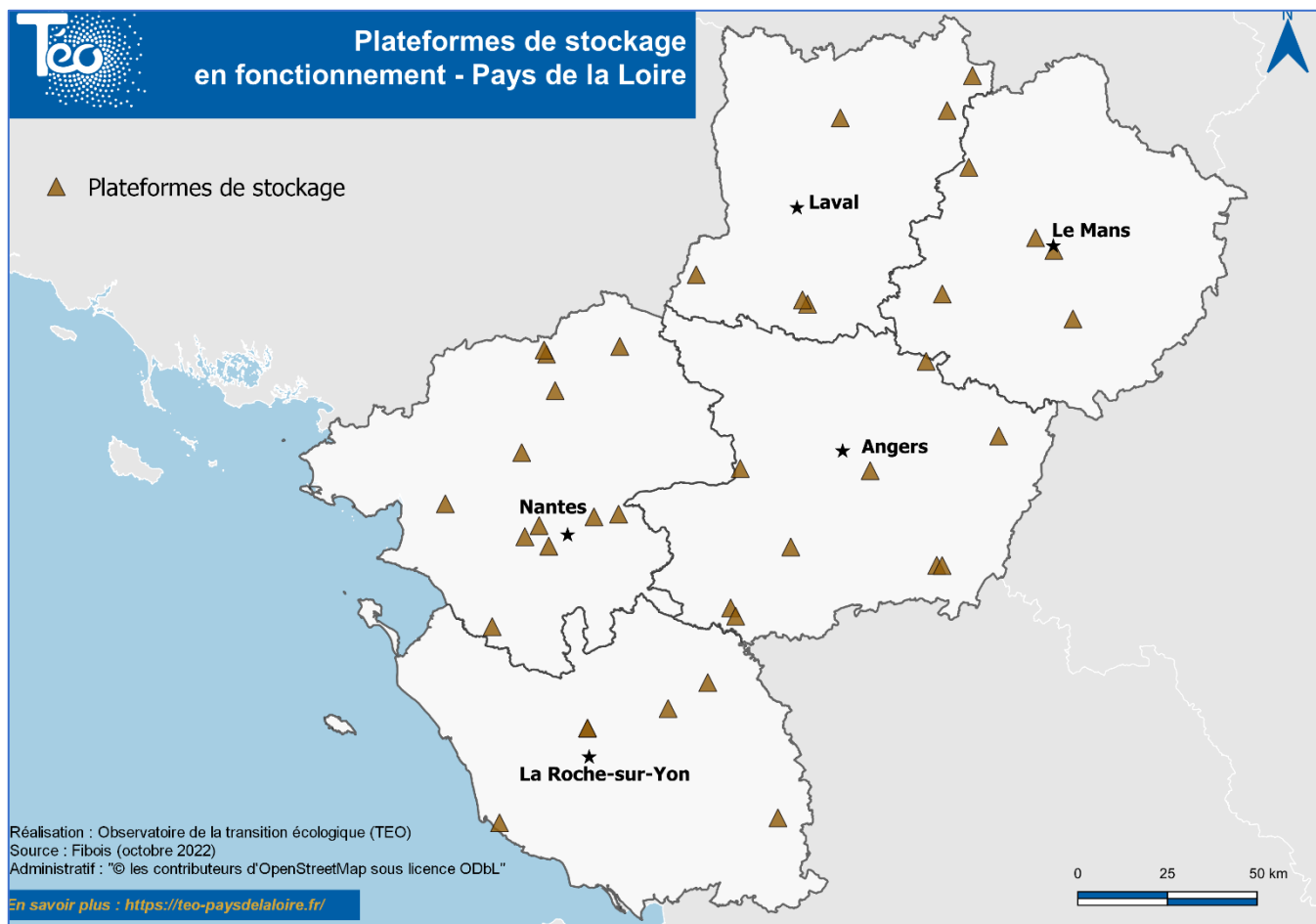


FIGURE 17 : PLATEFORME DE STOCKAGE EN FONCTIONNEMENT 2022 - SOURCE : TEO-PAYSDELALOIRE.FR

Les plates-formes locales présentent des tonnages de l'ordre de quelques centaines à 1 000 tonnes pour le moment. Les entreprises de travaux agricoles ont généralement une capacité de l'ordre de quelques milliers de tonnes au maximum. Les industriels du bois peuvent aller jusqu'à 15 - 20 000 tonnes.

On remarque que la région est relativement bien couverte dans sa globalité, mis à part certaines localités. Ceci est un gage d'une proximité de la ressource, renforçant son intérêt d'un point de vue économique et environnemental.

5.2.5. Etat des lieux des installations

La carte ci-dessous de visualiser le développement des chaufferies bois en Pays de la Loire en 2022.

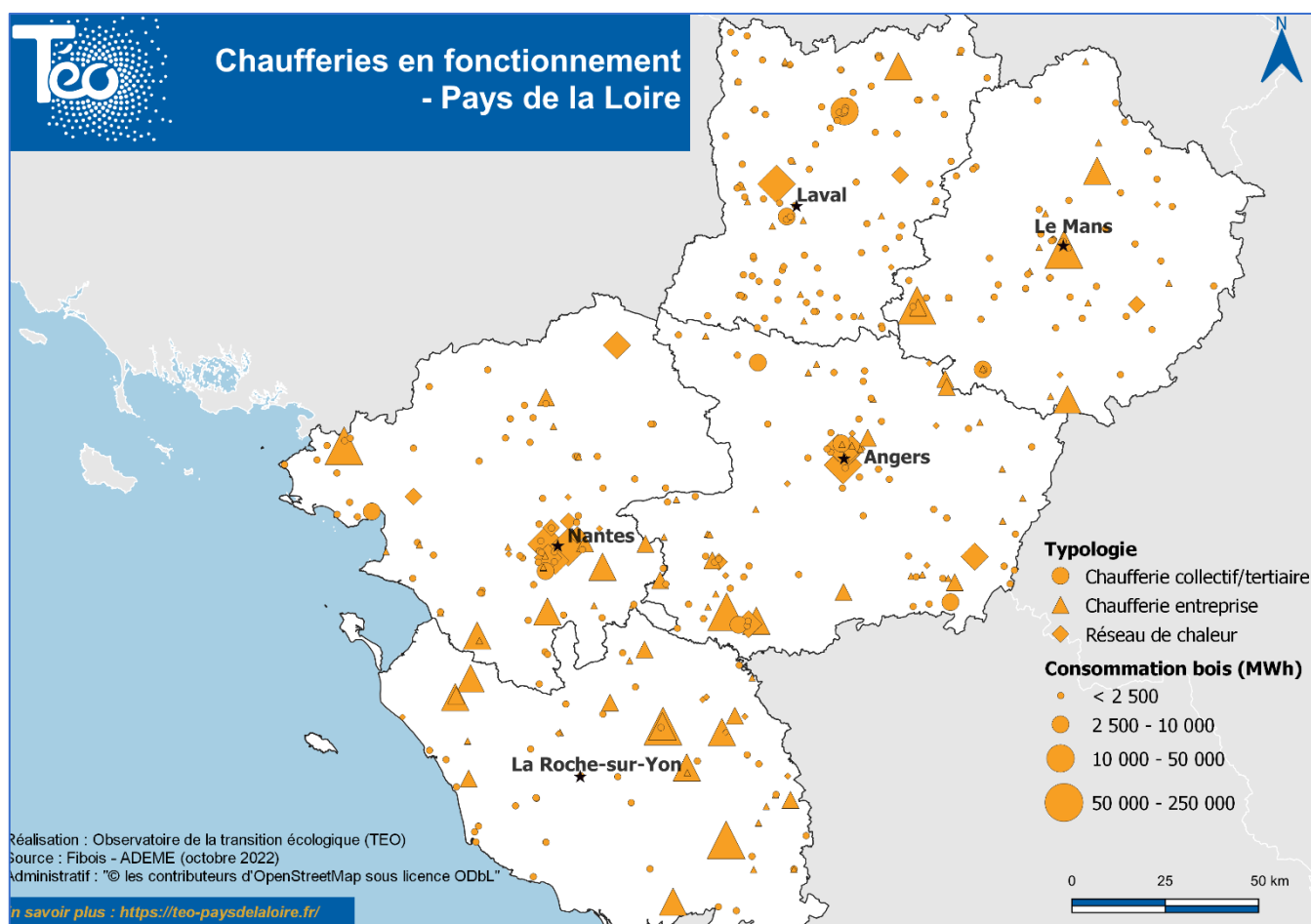


FIGURE 18 : LOCALISATIONS DES CHAUDIERES BOIS

On dénombrait en 2022, environ un nombre de 478 chaufferies, pour une puissance thermique de 473 MWth et électrique de 10,9 MWé.

5.3. Les déchets organiques valorisables

Ces déchets sont :

- Entre un tiers et la moitié des ordures ménagères (part fermentescible),
- Les boues de stations d'épuration,
- Les déjections animales en exploitation agricole,
- Les déchets verts,
- Les huiles alimentaires.

Ces déchets peuvent être valorisés par cogénération en électricité et en chaleur pour le chauffage des bâtiments, via un réseau de chaleur. Ils peuvent également être la principale ressource pour la production de biogaz, utilisé comme source d'énergie pour la production de chaleur et d'électricité ou bien réinjecté dans le réseau de distribution du gaz naturel.

Il convient de dissocier la valorisation des déchets organiques en deux catégories :

- Les usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM),
- Les unités de méthanisation.

5.3.1. Usine d'incinération des ordures ménagères

La Région Pays de la Loire compte 5 usines d'incinération des ordures ménagères, dans les villes suivantes :

- Nantes (2),
- Pontmain,
- Lasse,
- Le Mans.

Ces installations permettent la production (données de 2020) d'environ 302 GWh de chaleur et de 43 GWh d'électricité. (Source Air pays de Loire)

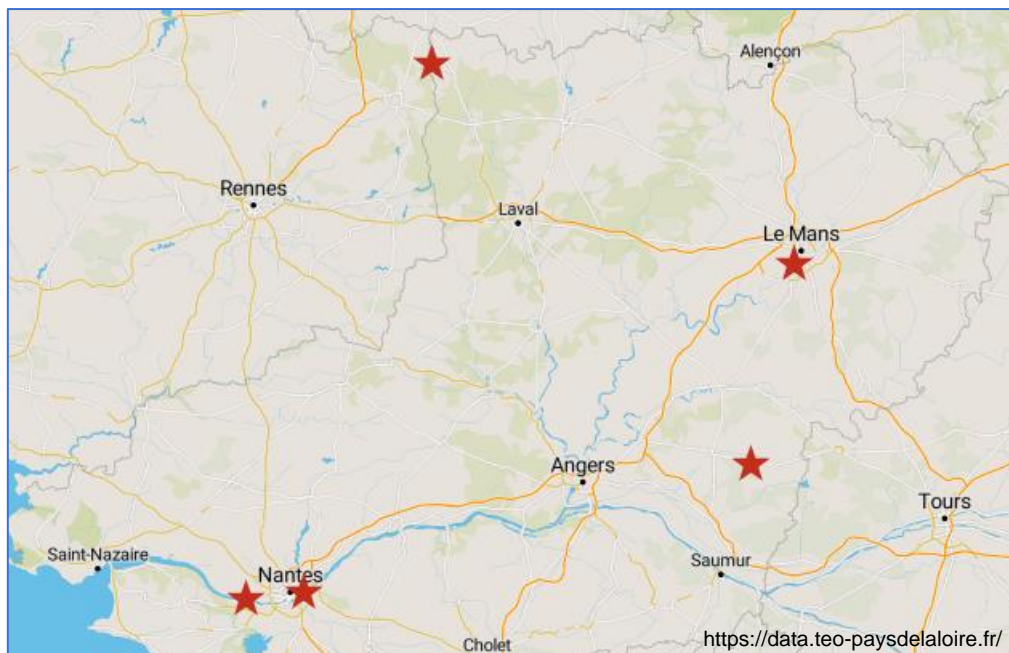


FIGURE 19 : UNITES DE VALORISATION ENERGETIQUE (UVE) DES DECHETS EN PAYS DE LA LOIRE EN FONCTIONNEMENT EN 2020.

5.3.2. Les unités de méthanisation

Les installations de production de biogaz, valorisant des déchets organiques sont relativement présents sur la région Pays de la Loire. La carte ci-dessous présente les installations de valorisation de biogaz en 2019

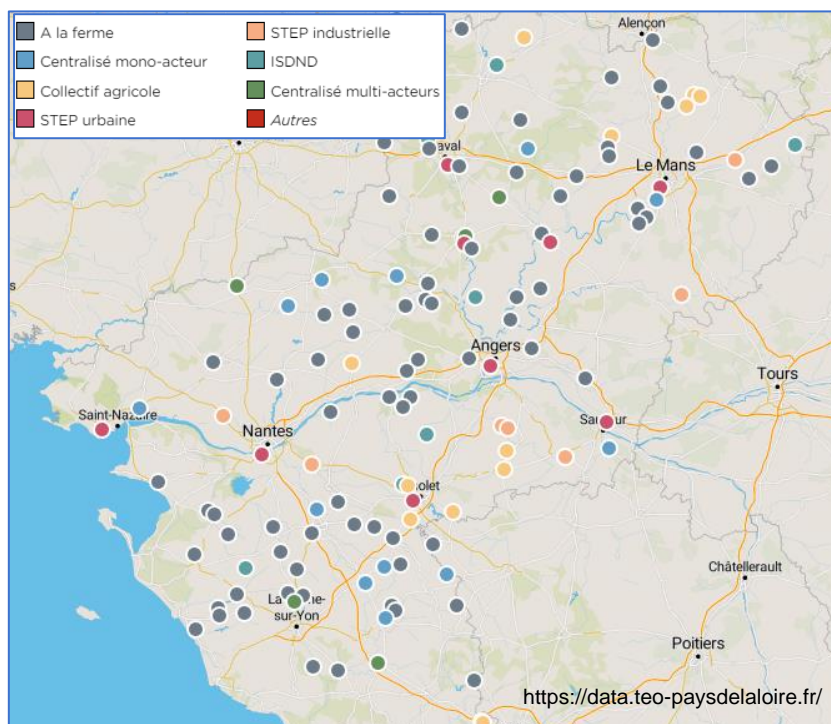


FIGURE 20 : INSTALLATIONS DE VALORISATION DE BIOGAZ EN FONCTIONNEMENT AU 1ER SEPTEMBRE 2022

La filière méthanisation représente au total 79 unités de méthanisation en Pays de la Loire.

Le graphique suivant illustre la part d'énergie primaire de biogaz en fonction de la typologie de l'installation ainsi que deux voies de valorisation du biogaz.

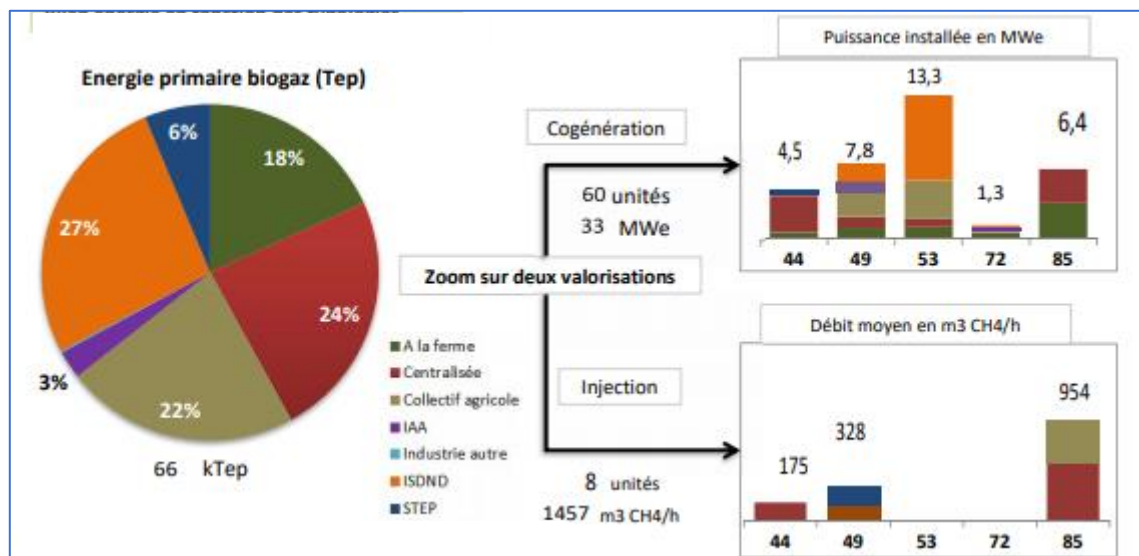


FIGURE 21 : BILAN ENERGETIQUE EN FONCTION DES TYPOLOGIES

La dynamique de la filière biogaz en Pays de la Loire est amenée à se poursuivre : on dénombre 40 projets.

5.4. La géothermie

La géothermie désigne les processus industriels qui visent à exploiter les phénomènes thermiques internes du globe pour produire de l'électricité et/ou de la chaleur. Le chauffage des bâtiments par géothermie se fait soit de façon centralisée par le biais de réseaux de chaleur, soit de façon plus individuelle par le biais de pompes à chaleur couplées à des capteurs enterrés.

On distingue généralement :

- ▶ La géothermie très basse énergie (température inférieure à 30°C) ayant recours aux pompes à chaleur ;
- ▶ La géothermie basse énergie (température entre 30 et 90°C) ;
- ▶ La géothermie haute énergie (température supérieure à 150°C).

On citera deux types de géothermie envisageables en région Bretagne : la géothermie basse énergie et la géothermie très basse énergie.

5.4.1. Rappel sur la technique de géothermie basse énergie

Le principe de la géothermie dite « Basse énergie » est d'aller puiser une eau géothermale sur aquifère profond (à environ 1 000 - 2 000 mètres de profondeur), pour ensuite alimenter un réseau de chaleur après échange des calories contenues dans l'eau géothermale.

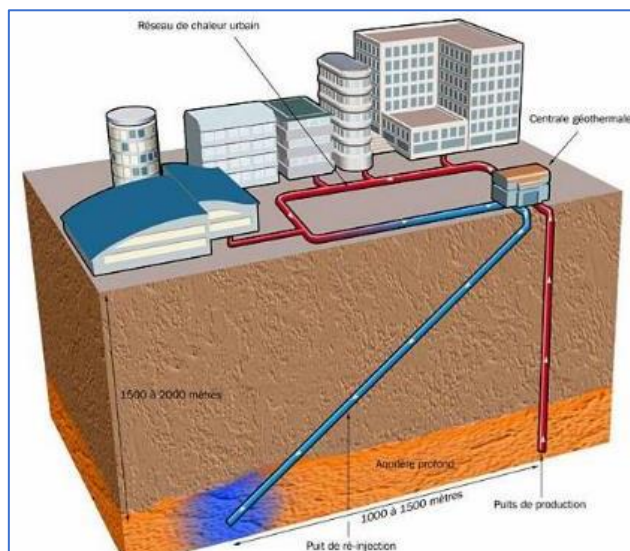


FIGURE 22 : PRINCIPE DU RESEAU DE CHALEUR SUR AQUIFERE PROFOND - SOURCE : LE MONITEUR

Les installations de ce type sont inédites en région Bretagne, néanmoins, un forage d'étude (670m) a été réalisé sur la commune de Chartres-de-Bretagne (35) dans le cadre du projet CINERGY. L'étude menée par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) montre un gradient de température du sol relativement classique, ne mettant pas en avant de potentiel particulièrement intéressant thermiquement.

5.4.2. Potentiel estimatif

Le potentiel géothermique est difficile à estimer, étant donné le fait que les aquifères profonds sont imperceptibles sans forages et que ce type d'opération est inédit dans la région Bretagne. Cependant, les études géologiques des sous-sols permettent d'établir des hypothèses sur le potentiel.

La carte ci-dessous, éditée par le BRGM, représente une estimation des ressources géothermiques et montre que les zones les plus favorables aux installations de géothermie basse énergie sont les bassins parisien et aquitain.

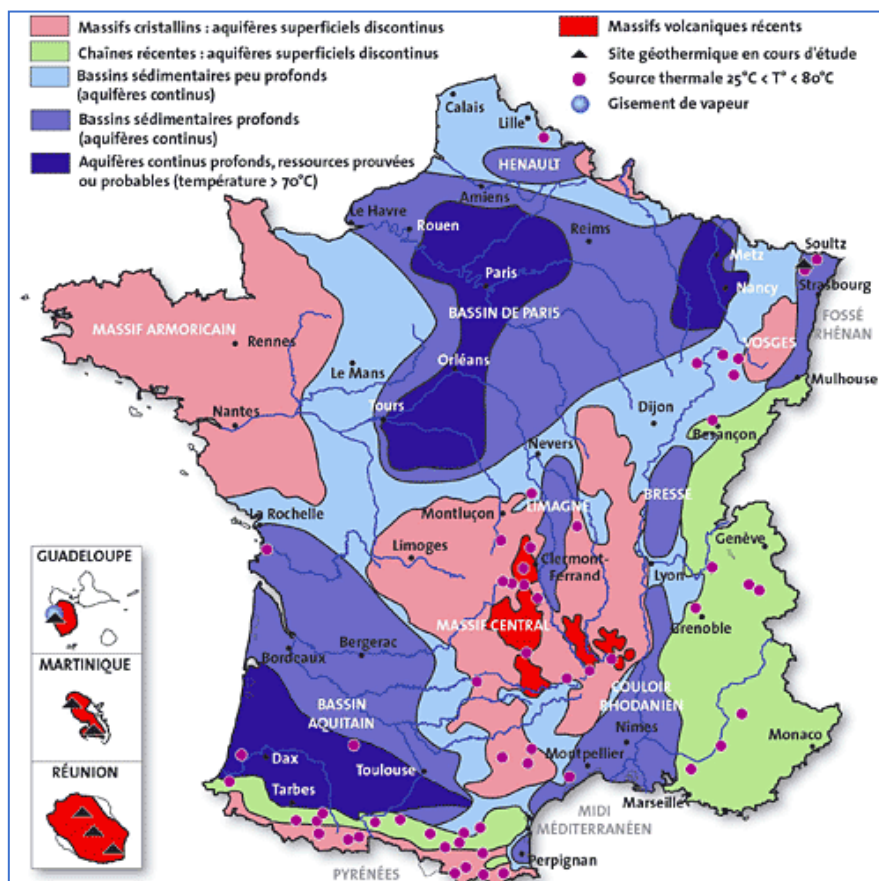


FIGURE 23 : CARTE DES MASSIFS FRANÇAIS - SOURCE : BRGM

La région Pays de la Loire est localisée principalement sur un massif cristallin, dévoilant vraisemblablement des aquifères superficiels discontinus. Cela se traduit par un potentiel géothermique sous forme de nappes d'eau peu profondes (< 1000 m) présentant des températures moyennes. Une partie de la région est implantée sur des bassins sédimentaires peu profonds (aquifères continus), présentant donc un potentiel plus intéressant pour ce type de technologie, mais à des profondeurs restant relativement faibles. Un forage d'étude restera impératif, afin de préciser le potentiel réel exploitable ou non pour ce type de système.

Ces températures susceptibles d'obtenir seraient à priori insuffisantes pour une alimentation directe d'un réseau de chaleur. En revanche, le couplage avec un système de relèvement de température, telle une pompe à chaleur de grosse puissance, engendrerait un coefficient de performance relativement élevé et donc intéressant énergétiquement.

5.4.3. La géothermie très basse énergie

La géothermie très basse énergie exploite, grâce à des pompes à chaleur, soit la chaleur du sous-sol peu profond (capteurs horizontaux ou verticaux en circuit fermé) soit celle contenue dans les nappes d'eau peu profondes.

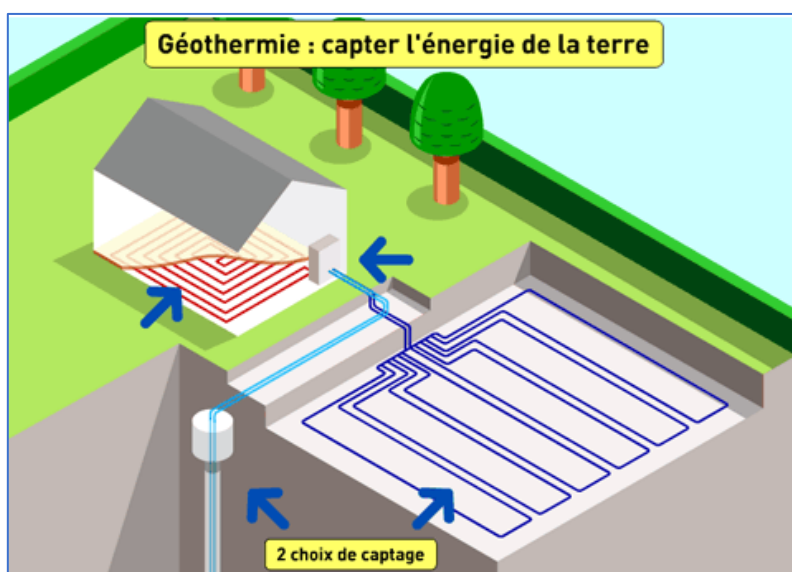


FIGURE 24 : GEOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE - SOURCE : CHAUFFAGE SOBRECO

Les perspectives de mise en œuvre pour les installations de capteurs horizontaux disposant d'une surface de terrain peu importante sont réduites. L'installation de capteurs verticaux est dans ce cas précis plus adéquate, mais l'investissement est plus important en règle générale.

Le captage vertical est plus performant que l'horizontal : la source de chaleur est stable en profondeur alors qu'à proximité de la surface, elle est sensible aux variations thermiques.

Cette ressource est inépuisable, et gratuite, mais nécessite un appoint électrique garanti par la pompe à chaleur.

5.5. L'aérothermie

Selon le même principe que pour la géothermie, l'aérothermie exploite, grâce à des pompes à chaleur, les calories contenues dans l'air extérieur.

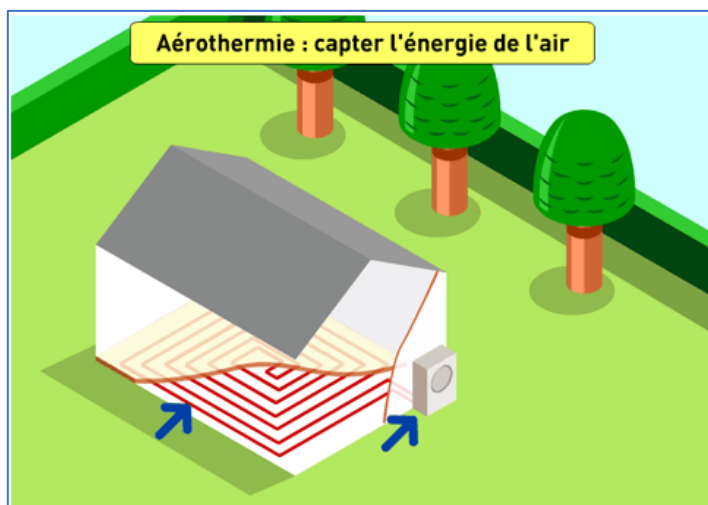


FIGURE 25 : AEROTHERMIE - SOURCE : CHAUFFAGE SOBRECO

Cette ressource est inépuisable, et gratuite, mais nécessite un appoint électrique garanti par la pompe à chaleur.

5.6. La ressource éolienne

5.6.1. Potentiel

Le potentiel éolien est à évaluer au cas par cas, car le vent est une ressource particulièrement instable. Néanmoins, la région, de par sa géographie côtière présente de manière générale des prédispositions favorables à l'énergie éolienne. La carte ci-dessous montre une répartition géographique de la vitesse du vent, élément essentiel à la définition du potentiel éolien :

On remarque que logiquement, la vitesse du vent augmente plus la distance du littoral diminue. Le potentiel éolien, même s'il est globalement avéré sur l'ensemble de la région apparaît donc théoriquement plus important sur les départements côtiers : La Loire Atlantique et la Vendée.

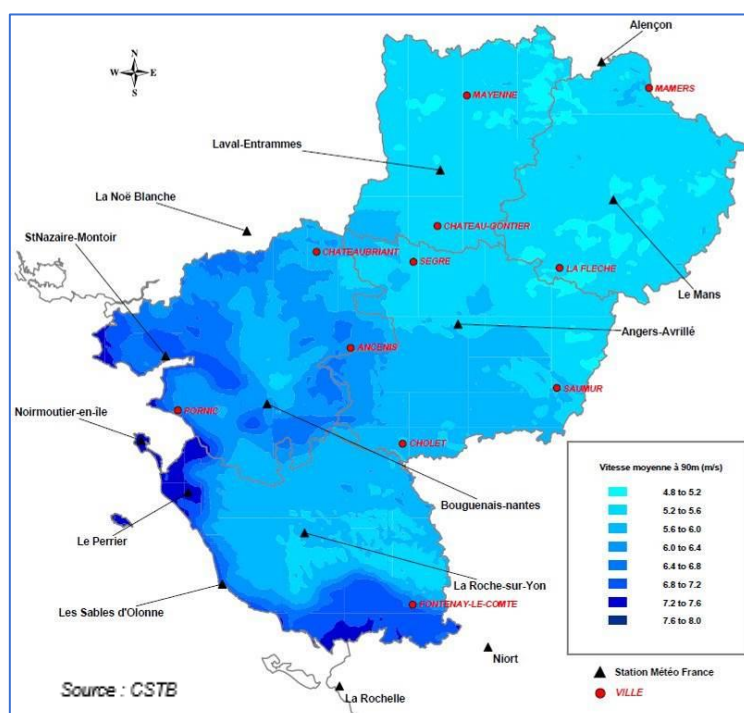


FIGURE 26 : VITESSE MOYENNE A 90 M EN M/S

L'éolien présente l'avantage, malgré l'intermittence de la ressource (le vent), d'une corrélation entre besoins et ressources. (Globalement les besoins électriques sont plus importants en hiver et c'est également à cette période qu'il y a le plus de vent).



FIGURE 27 : EOLIENNE

Néanmoins, la loi « Grenelle II » impose plusieurs contraintes :

- ▶ Une puissance minimale de 15 mégawatts (MW) ;
- ▶ Cinq éoliennes au minimum par parc ;
- ▶ 500 mètres minimum entre les turbines et les zones d'habitation.

Ces dispositions rendent relativement difficile l'intégration d'une production éolienne proche d'un projet constructif.

5.6.2. Etat des lieux

L'éolien a connu un véritable essor dans les Pays de Loire ces dernières années, en témoigne le graphique ci-dessous, montrant l'évolution de la puissance installée à l'échelle de la région :

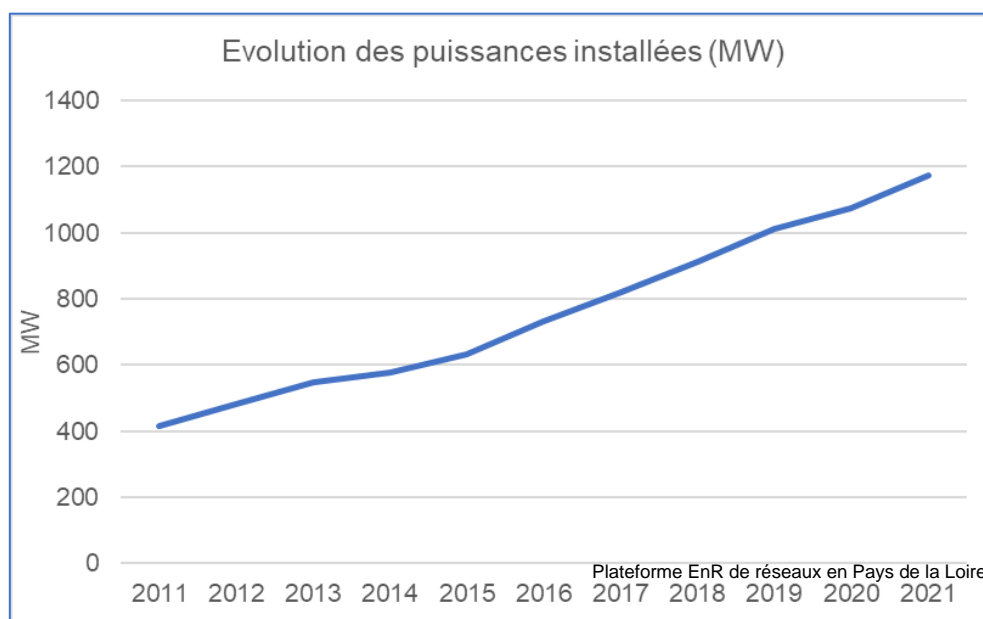


FIGURE 28 : PUISSANCE EOLIENNE EN FONCTIONNEMENT

La puissance éolienne installée en Pays de la Loire fin 2021 est de l'ordre de 1173 MW, sur un total de 154 parcs éoliens. La production d'électricité d'origine éolienne pour la région était d'environ 2 2120 GWh en 2021.

Les capacités de production d'électricité d'origine éolienne ont considérablement augmenté ces dernières années, à travers les nouvelles constructions de parcs éoliens, comme le montre la carte ci-dessous :

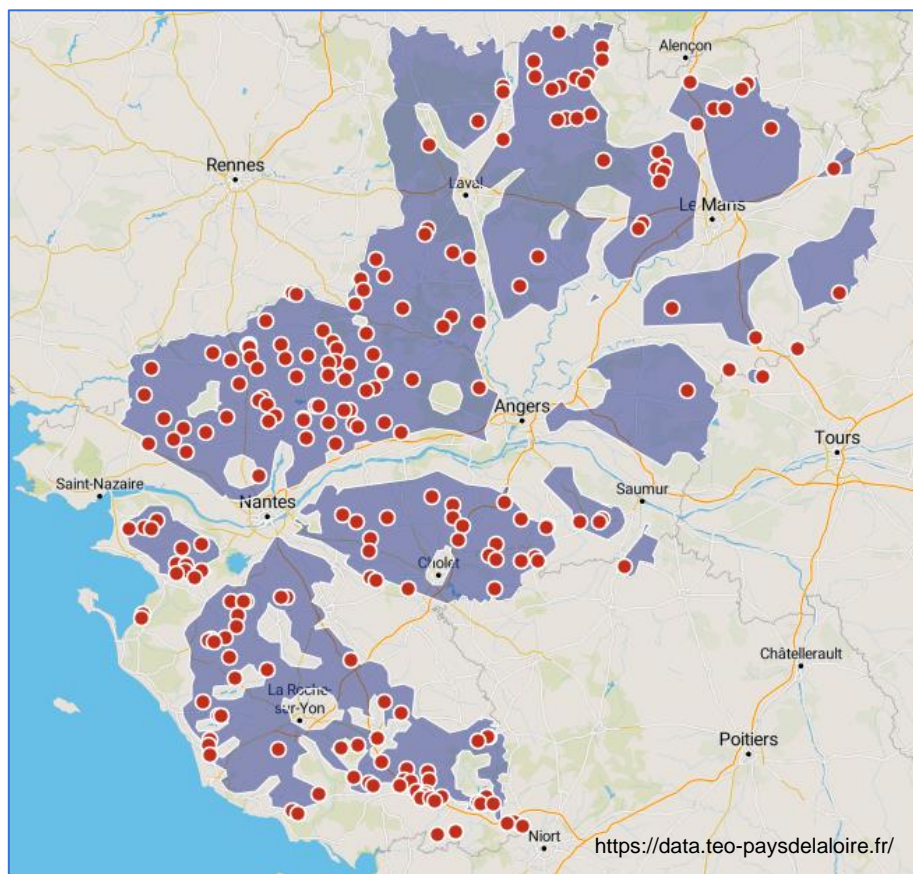


FIGURE 29 : INSTALLATIONS EOLIENNES (ROUGE) ET ZONES FAVORABLES A L'EOLIEN (VIOLET)

5.7. Production d'électricité hydraulique

5.7.1. Potentiel

La production d'électricité hydraulique est la principale source relativement peu exploitée à l'échelle de la région Pays de la Loire.

On recense plusieurs types de sources d'énergies hydrauliques.

- ▮ Le potentiel marin (marées, courants marins, houle),
- ▮ Le potentiel des rivières (débits des rivières).

La région des Pays de la Loire ne bénéficiant pas d'un relief marqué, le potentiel de développement de la ressource hydroélectrique y est faible.

5.7.2. Etat des lieux

Un état des lieux, réalisé par la DREAL en 2010, fait ressortir les ordres de grandeurs suivants :

- ▮ 35 petites centrales hydroélectriques raccordées au réseau électrique et environ une dizaine de plus utilisées en autoconsommation, soit un total de l'ordre de 45 installations,
- ▮ une puissance maximale de 11.3 MW au réseau et un peu moins de 1MW supplémentaire en autoconsommation, soit un total de l'ordre de 12 MW,
- ▮ une production d'électricité comprise globalement (installations raccordées au réseau ou utilisées en autoconsommation) entre 12 et 22 GWh/an (selon la pluviométrie annuelle et les arrêts de maintenance), soit entre 1 et 1.9 ktep/an.

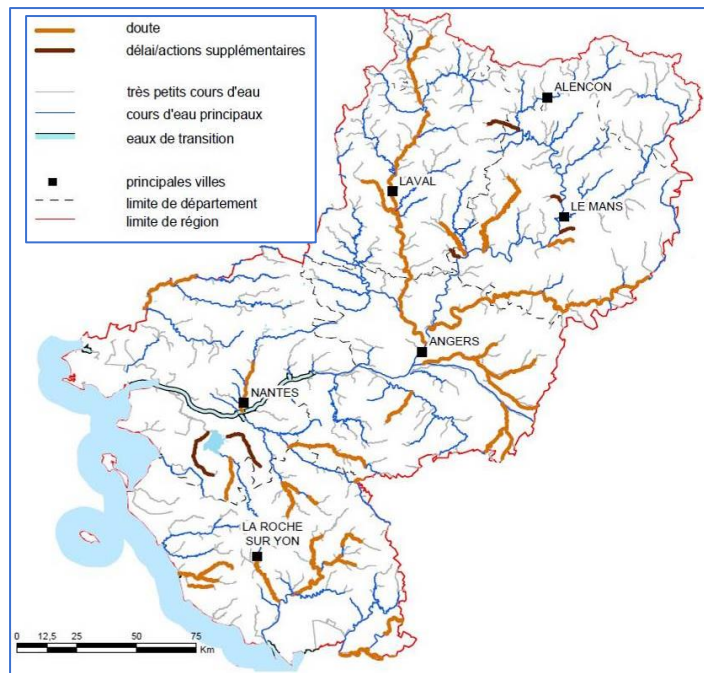


FIGURE 30 : POTENTIEL HYDRAULIQUE

L'évolution de la puissance installée raccordée au réseau est présentée ci-dessous :

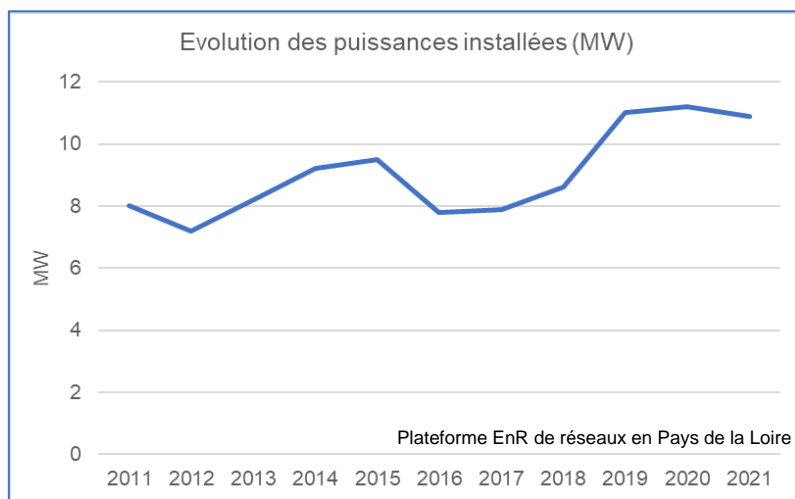


FIGURE 31 : L'ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE INSTALLÉE HYDROÉLECTRICITÉ RACCORDEE AU RESEAU

La production a évolué comme ci-dessous :

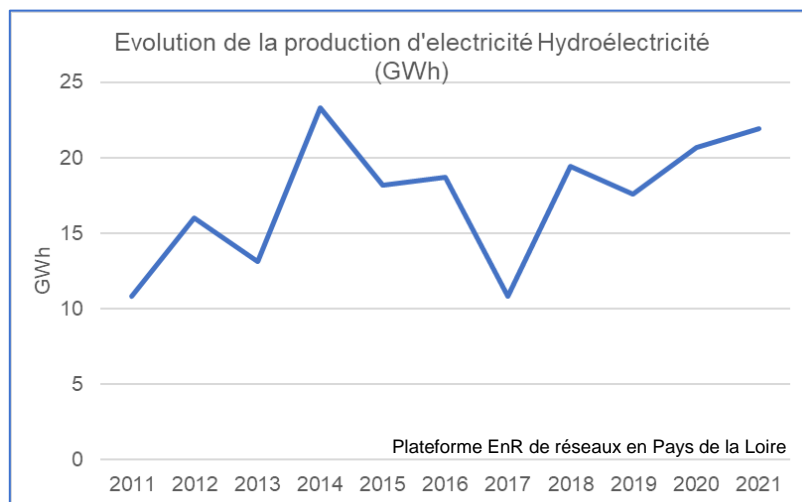


FIGURE 32 : ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ HYDROÉLECTRICITÉ (GWh)

6. Gisements énergétiques nets à l'échelle de la zone d'étude

6.1. Cadre du projet

6.1.1. Description du programme prévisionnel

A ce stade, le projet porte sur un périmètre opérationnel de 3.9 hectares.

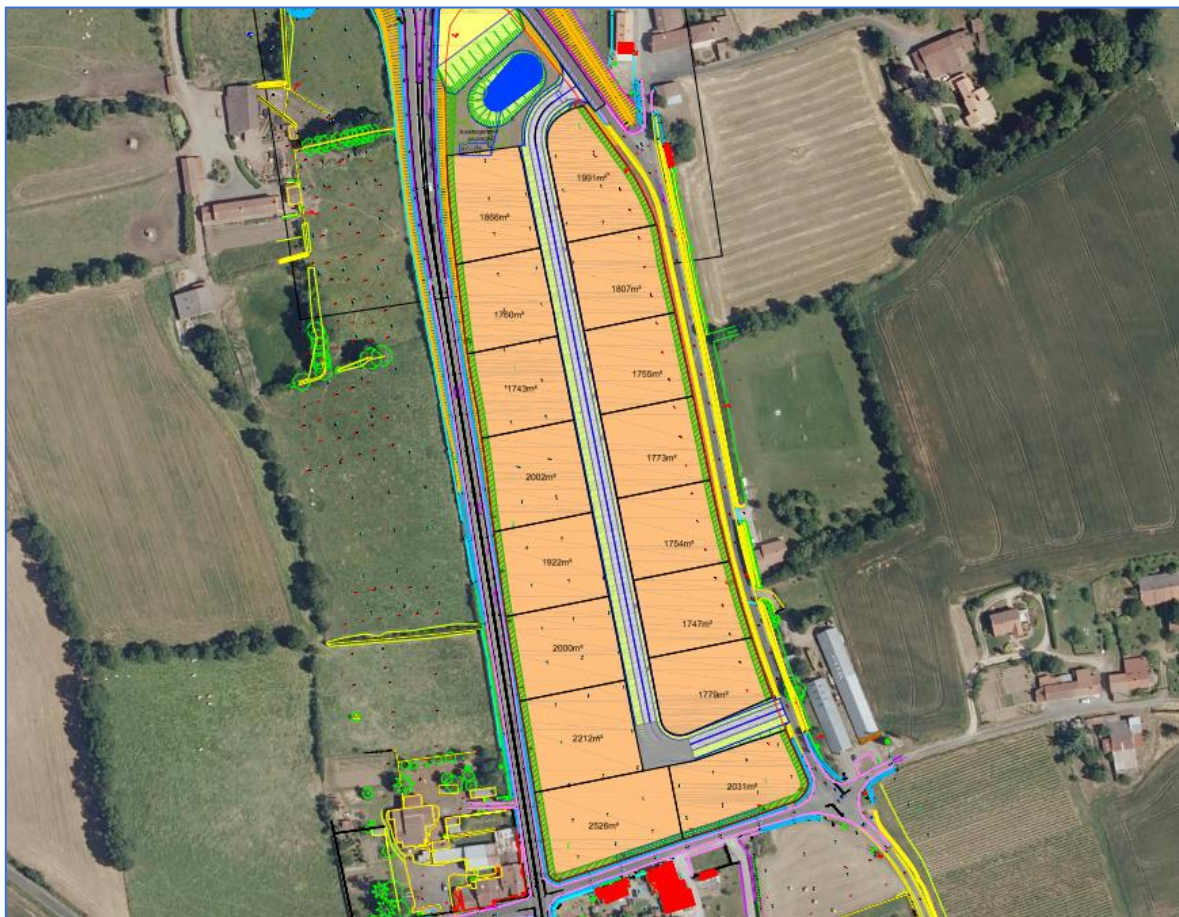


FIGURE 33 : PLAN DE MASSE DU PROJET

Au moment de l'étude, peu d'informations concernant la destination des bâtiments et de la surface définitive est connu. Les **hypothèses** suivantes sont fixées en concertation avec ALTER :

N°	Surface Parcelle (m ²)	Activité	Surface bâtiment (m ²)	Dont Surface chauffé (m ²)
1	1 866	Artisanat	560	50
2	1 991	Artisanat	600	70
3	1 760	Artisanat	530	50
4	1 807	Artisanat	540	50
5	1 743	Artisanat	530	50
6	1 755	Artisanat	530	50
7	2 002	Artisanat	600	70
8	1 773	Artisanat	530	50
9	1 922	Artisanat	580	50
10	1 754	Artisanat	530	50
11	2 000	Artisanat	600	70
12	1 747	Artisanat	530	50
13	2 212	Artisanat	660	100
14	1 779	Artisanat	540	50
15	2 526	Industrie (entreprises importantes)	1370	170
16	2 031			

6.1.2. Définition du bilan énergétique

Afin d'estimer les besoins énergétiques de la zone d'étude, il est nécessaire d'établir un bilan énergétique global regroupant les postes de consommations les plus importants dans le bâtiment à savoir :

- Le chauffage,
- L'eau chaude sanitaire,
- Le froid
- L'éclairage,
- Les auxiliaires pour la ventilation et le chauffage.

Dans ce cadre, l'étude de potentiel en énergies renouvelables s'appuiera sur un bilan de consommations théoriques données par la réglementation thermique pour les différentes typologies de bâtiment.

Il est important de préciser que les futurs bâtiments construits seront soumis tout ou en partie à la réglementation thermique en vigueur au moment du dépôt de permis de construire. La réglementation aura certainement évolué par rapport à la RT2012 actuellement en vigueur. En effet, la réglementation thermique 2020 est en train d'être mise en application. Au vu de l'avancement du projet, il est raisonnable de prendre comme hypothèses que l'extension du bâtiment sera soumise à la RE 2020. Pour cet usage de bâtiment, les indicateurs énergétiques ne sont pas encore sortis.

Nous prendrons comme hypothèses les indicateurs énergétiques de la RT 2012 en appliquant un coefficient de réduction. Le label Energie Carbone assure progressivement la transition énergétique et environnementale vers la nouvelle Réglementation Environnementale 2020 qui se substituera à la réglementation Thermique 2012.

6.1.2.1. Evolution de la réglementation thermique : Label Energie Carbone

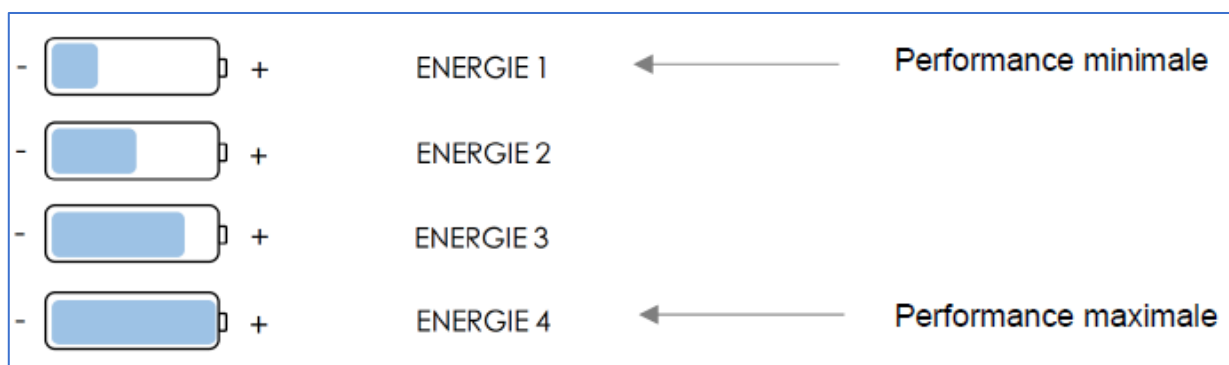
Le label Energie Carbone assure progressivement la transition énergétique et environnementale vers la nouvelle Réglementation Environnementale 2020 qui se substituera à la réglementation Thermique 2012.

Dès aujourd'hui, cette ambition se prépare pour contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique autour de deux grandes orientations pour la construction neuve :

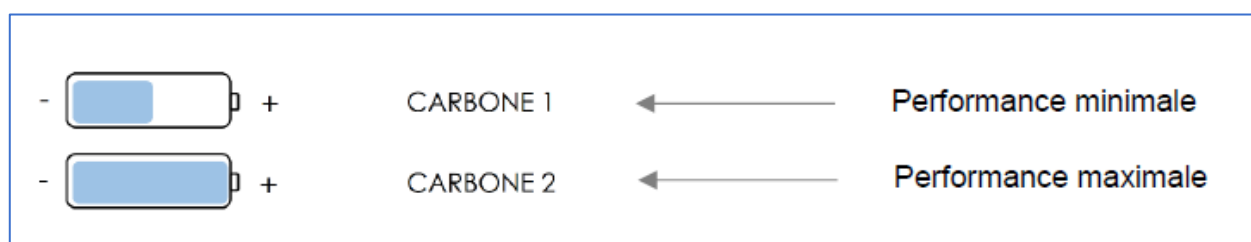
- La généralisation des bâtiments à énergie positive,
- Le déploiement de bâtiments à faible empreinte carbone tout au long de leur cycle de vie, depuis la conception jusqu'à la démolition.

Les performances énergétiques et carbonées sont évaluées selon plusieurs niveaux :

- La performance énergétique est déterminée par l'intermédiaire de 4 niveaux :



- La performance carbone est déterminée par l'intermédiaire de 2 niveaux :



Il est important de considérer dans cette étude une approche énergétique en adéquation avec les futures évolutions de la réglementation thermique. On prendra donc pour hypothèse ici que la performance énergétique à atteindre devra respecter le niveau « Energie 1 Carbone 1 » pour les bâtiments.

Ce niveau d'exigence implique de respecter les contraintes suivantes :

- Niveau Energie 1 : Cep max -30 % pour les bureaux, -20% pour les autres bâtiments.

Niveaux Energie	Maisons individuelles ou accolées	Bâtiments collectifs d'habitation	Bureaux	Autres bâtiments
E1	Sobriété et Efficacité énergétique et/ou recours aux ENR notamment la chaleur renouvelable			
	Cepmax -5%		Cep max -15%	Cep max -10%
E2	Sobriété et Efficacité énergétique et/ou recours aux ENR notamment la chaleur renouvelable			
	Cep max -10%	Cep max -15%	Cep max -30%	Cep max -20%
E3	Sobriété et Efficacité énergétique et recours aux ENR pour les besoins du bâtiment			
	Cep max -20% Production ENR de 20 kWhep/m ² /an		Cep max -40% Production ENR de 40 kWhep/m ² /an	Cep max -20% Production ENR de 20 kWhep/m ² /an
E4	Bâtiment producteur Production ENR équivalente aux consommations NR <u>sur tous les usages</u> du bâtiment, soit Bilan BEPOS max ≤ 0			

FIGURE 34 : NIVEAUX DES PERFORMANCES ENERGETIQUES DU LABEL ENERGIE CARBONE

- Niveau Carbone 1
 - Les leviers de réduction de l'empreinte carbone sont à répartir entre les consommations énergétiques et le choix des matériaux
 - Aucun mode constructif ni vecteur énergétique n'est exclu

Pour respecter ces exigences, plusieurs procédés doivent être mis en œuvre pour atteindre ces objectifs de consommations :

- Dans un premier temps : Une conception du bâtiment sobre et efficiente du bâti en privilégiant une architecture compacte, des surfaces vitrées importantes avec une gestion des apports solaires, des performances de parois importantes et une utilisation de matériaux biosourcés avec une faible empreinte carbone.
- Dans un second temps : Mise en œuvre d'énergies renouvelables pour compenser et atteindre les objectifs fixés (panneaux photovoltaïque, ...)

6.1.3. Estimation des consommations énergétiques

L'estimation des consommations énergétiques du projet est basée sur un scénario d'aménagement permettant de réaliser une approche quantitative sommaire des consommations énergétiques à considérer. Il est fait la distinction entre les consommations thermiques, engendrées par les besoins en chauffage, en Eau Chaude Sanitaire (ECS), en refroidissement, et les consommations techniques & domestiques, engendrés par les consommations des éclairages, des appareils électroménagers, des appareils hifis ou de bureau, de communication, de cuisson ...

Les estimations des consommations sont en partie établies sur la base des seuils maximum de consommation définis par la RT 2012 étant donné que la majorité des bâtiments implantés seront soumis à cette réglementation (pour les 5 postes évalués par la réglementation thermique à savoir chauffage, ECS, éclairage, froid, auxiliaires).

Les bâtiments devront répondre aux exigences de la RT 2012 et donc présenter une valeur du coefficient de consommation Cep inférieure au Cep max calculé par la formule suivante :

$$Cep_{max} = 50 \cdot M_{type} \cdot (M_{cgeo} + M_{calt} + M_{c surf} + M_{cGES})$$

Avec :

- ▶ M_{type} : coefficient de modulation selon le type de bâtiment ou de la partie de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2,
- ▶ M_{cgeo} : coefficient de modulation selon la localisation géographique,
- ▶ M_{calt} : coefficient de modulation selon l'altitude,
- ▶ $M_{c surf}$: coefficient de modulation selon la surface (pour les maisons individuelles, accolées ou non),
- ▶ M_{cGES} : coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées.

La valeur maximale des consommations énergétiques dépend donc du type de bâtiment, de sa localisation, de sa surface et des équipements prévus d'installer.

L'étude ne prend pas en compte les consommations énergétiques liées à l'activité industrielle et/ou artisanale (Par exemple : les process thermiques).

Les coefficients Cep_{max} moyens pour les différents types de bâtiments programmés sont les suivants avec Label E+C- (sans tenir compte de la possibilité de mettre en œuvre des installations faiblement émetteur en CO2) :

- ▶ Bureaux des usines : 70 kWh_{Ep}/m²SRT.an,
- ▶ Industrie ou artisanat : 112 kWh_{Ep}/m²SRT.an,

La répartition selon les usages de ce coefficient Cep_{max} est estimée de la façon suivante :

Typologie	Chauffage	ECS	Froid	Eclairage	Aux.	Consos électricité spécifique	Cep_{max}
	(kWh _{Ep} /m ² . an)	(kWh _{Ep} /m ² . an)	(kWh _{Ep} /m ² . an)	(kWh _{Ep} /m ² . an)	(kWh _{Ep} /m ² . an)	(kWh _{Ep} /m ² . an)	(kWh _{Ep} /m ² . an)
Bureaux	49	7	0	11	4	11	70
Industrie	6	22	34	39	11	17	112
Artisanat	11	34	0	50	17	17	112

Les valeurs des Cep_{max} sont très hétérogènes, avec des valeurs très élevées pour les bâtiments à usage d'industrie, pouvant consommer environ 2 fois plus d'énergie que les bâtiments de bureaux tout en respectant la RT 2012.

Il est important de rappeler que la répartition des consommations entre les usages est une estimation moyenne issue de retours d'expériences sur des bâtiments similaires, et que d'un projet à l'autre, ces répartitions pourront varier selon les orientations prises par les concepteurs et maîtres d'ouvrage.

Il a également été estimé des consommations d'électricité spécifique, liées aux usages non pris en compte par la RT2012 à savoir le fonctionnement du matériel informatique, process, multimédia, prises de courant diverses, ...

Précisions

- ▶ *La consommation répondant à des besoins en énergie pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire est exprimée en kWh_{ep} (kilowattheure d'énergie primaire). L'énergie primaire est la quantité d'énergie nécessaire pour produire une quantité d'énergie « utile » exploitable par l'utilisateur. Pour produire un kWh d'énergie utile, la quantité d'énergie primaire varie selon le type d'énergie. Ainsi, il faudra 2,3 kWh_{ep} d'énergie au total pour produire 1kWh d'électricité (RE2020), mais uniquement 1 kWh_{ep} pour produire 1kWh utile issu du fioul, gaz de ville ou bois.*

Les consommations estimées sur la base des hypothèses d'équipements précisés dans le scénario de référence (exprimées à la fois en énergie primaire EP et énergie finale EF) sont donc les suivantes :

Typologie	Surface Plancher total	Chauffage (MWh/an)	ECS (MWh/an)	Froid (MWh/an)	Eclairage (MWh/an)	Aux. RT (MWh/an)	Elec. spécifique (MWh/an)	Conso. Thermiques Chaud (MWh/an)	Conso. Thermiques Froid (MWh/an)	Conso. Electriques (MWh/an)	Conso. Totales (MWh/an)	
	m ²	EF	EF	EF	EF	EF	EF	EP/EF*	EP/EF*	EP	EP	EF
Bureaux	980	48	7	0	4	1	4	55	0	24	79	65
Industrie	1 200	7	27	40	20	6	9	34	40	81	155	109
Artisanat	7 050	79	237	0	154	51	51	316	0	592	908	573

Pour la suite de l'étude, il sera pris en compte les valeurs des consommations thermiques de référence en énergie primaire, auxquelles seront appliquées les différentes efficacités des équipements étudiés et les ratios de conversion en énergie finale propre à chaque équipement.

En termes de consommations finales, à savoir la quantité d'énergie consommée sur site et facturée, le projet représente environ **750 MWh/an** de consommations, dont 54 % liées à la couverture des besoins thermiques chaud, 5% liée au froid et 41 % liées aux autres usages, de type électrique.

6.1.4. Estimation des puissances thermiques

Typologie	Puissance Chauffage Totale	Puissance ECS Totale	Puissance Chaud Totale	Puissance Froid Totale
	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)
Bureaux	74	2	75	0
Industrie	84	2	86	20
Artisanat	424	14	438	0

L'ordre de grandeur de puissance thermique nécessaire pour l'ensemble de l'opération est estimé à environ **600 kW Chaud** et **20 kW Froid**.

6.2. Scénario de référence

Afin d'évaluer la pertinence économique des différents potentiels de mise en œuvre d'énergies renouvelables qui seront présentés dans cette étude, il est nécessaire de pouvoir les comparer à un scénario de référence qui reflète au mieux les habitudes traditionnelles de conception des systèmes énergétiques dans le type de bâtiment prévu au projet.

Une installation entièrement électrique afin d'assurer le chauffage et la préparation d'eau chaude sanitaire est relativement simple à mettre en œuvre et peu onéreuse, mais cependant difficilement compatible avec RE 2020 étant donné le coefficient de conversion en énergie primaire de l'électricité de 2,3. Cette solution a donc été écartée pour la solution de référence.

Le projet n'est pas à proximité immédiate d'une canalisation existante.

Le type de production de chaleur envisagé pour le scénario de référence est donc le suivant :

Typologie	Technologie chauffage et ECS
Bureaux	Chaudière gaz propane à condensation
Industrie	Chaudière gaz propane à condensation
Artisanat	Chaudière gaz propane à condensation

Dans la suite de l'étude les hypothèses suivantes ont été appliquées pour le prix de l'énergie :

- ▶ Propane : 140 €TTC/MWh
- ▶ Electricité : 200 €TTC/MWh
- ▶ Bois : 40 €TTC/MWh

Approche Energétique et Economique

Les estimations des consommations liées à la production thermique par type d'énergie utilisée et de la dépense énergétique annuelle sont présentées dans le tableau ci-dessous. Un ordre de grandeur de l'investissement généré par les installations thermiques prises en compte dans ce scénario de référence est également présenté (comprenant l'ensemble des investissements de la production à l'émission de chaleur, à savoir selon les cas : production, stockage, distribution, émission, hydraulique chaufferie, fumisterie, main d'œuvre ...).

Typologie	Type production chauffage et ECS	Consos Gaz (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements ** (€ TTC)
Bureaux	Chaudière gaz	55	10	9 800	15 800	300 000
Industrie		34	53	15 200	16 700	60 000
Artisanat		316	257	95 700	109 700	400 000
Total	Chaudière gaz	404	321	120 700	142 200	760 000

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Pour l'ensemble du projet, la dépense énergétique annuelle du scénario de référence est estimée à environ **142 200 € TTC** et l'investissement lié aux installations de production thermique est estimé à environ **760 000 € TTC**. Les émissions de CO₂ sont estimées à 135 tonnes CO₂.

Sur l'ensemble du projet, la répartition des dépenses énergétiques liées aux besoins thermiques (chauffage, froid et ECS) et aux autres usages est la suivante :

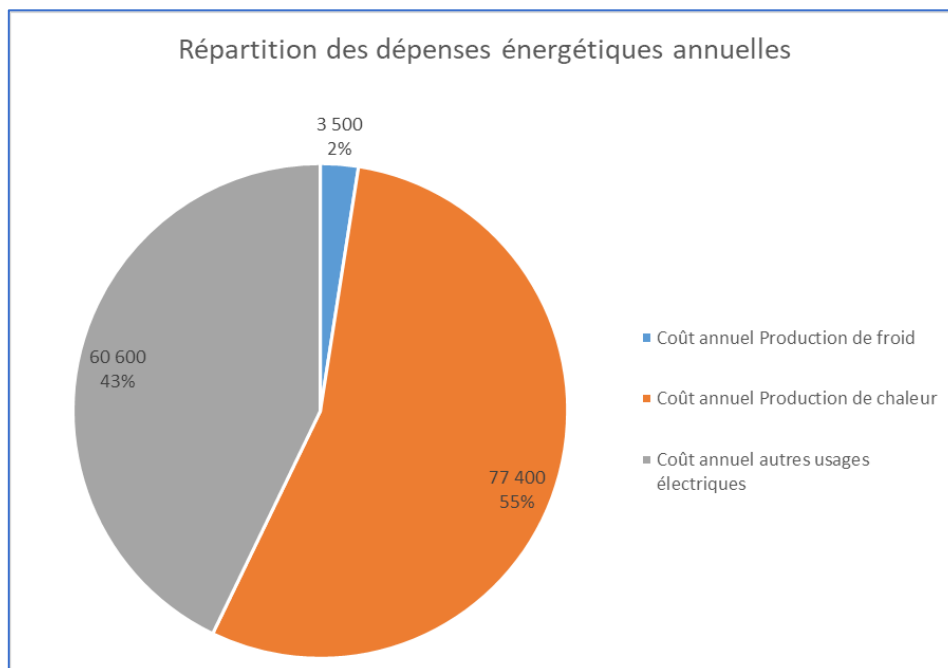


FIGURE 35 : REPARTITION DES DEPENSES ENERGETIQUES ANNUELLES

6.3. Gisement solaire net

6.3.1. Description des formes urbaines

L'implantation des bâtiments devra prendre en compte au mieux les principes de base d'une architecture bioclimatique visant à optimiser les apports solaires directs en hiver en privilégiant une orientation principale du bâtiment et des surfaces vitrées plein sud.

Cette orientation permettra également une protection contre les surchauffes estivales par des brise-soleil correctement dimensionnés plus efficace que pour une orientation Est-Ouest. En effet, la position du soleil est plus basse en matinée et soirée (soit à l'est et à l'ouest) qu'à midi. La protection solaire par brise soleil est donc plus facile avec une orientation plein sud. A l'est et à l'ouest, la protection solaire pourra être de type stores extérieurs ou brise soleil également mais avec un débord plus conséquent et une efficacité plus limitée.

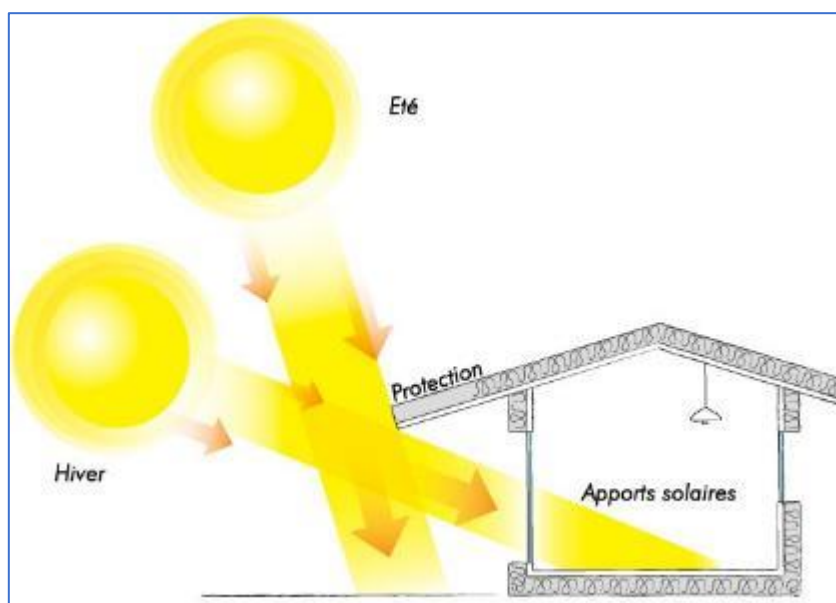


FIGURE 36 : APPORTS SOLAIRES

A noter que les contraintes d'urbanisme ne permettent pas d'obtenir 100% de bâtiments correctement orientés.

Il faudra veiller, pour les bâtiments correctement orientés, à se protéger des surchauffes estivales par des brise-soleil correctement dimensionnés.

Cette orientation plein sud présente également l'avantage de fournir un potentiel d'implantation de capteurs solaires intéressants (capteurs thermiques ou photovoltaïques).

Des orientations différentes engendrent de moins bons rendements globaux, matérialisés par les facteurs de correction ci-dessous.

FACTEURS DE CORRECTION POUR UNE INCLINAISON ET UNE ORIENTATION DONNEES					
INCLINAISON		☀️ 0°	☀️ 30°	☀️ 60°	☀️ 90°
ORIENTATION		0°	30°	60°	90°
Est	→	0,93	0,90	0,78	0,55
Sud-Est	↘	0,93	0,96	0,88	0,66
Sud	↓	0,93	1,00	0,91	0,68
Sud-Ouest	↙	0,93	0,96	0,88	0,66
Ouest	←	0,93	0,90	0,78	0,55

FIGURE 37 : FACTEUR DE CORRECTION SOLAIRE

Cette prédisposition est notamment valable lorsque les formes urbaines présentent des toitures inclinées (généralement à 35° dans la région).

Le potentiel solaire propre à la zone d'étude est présenté dans le graphique ci-dessous.

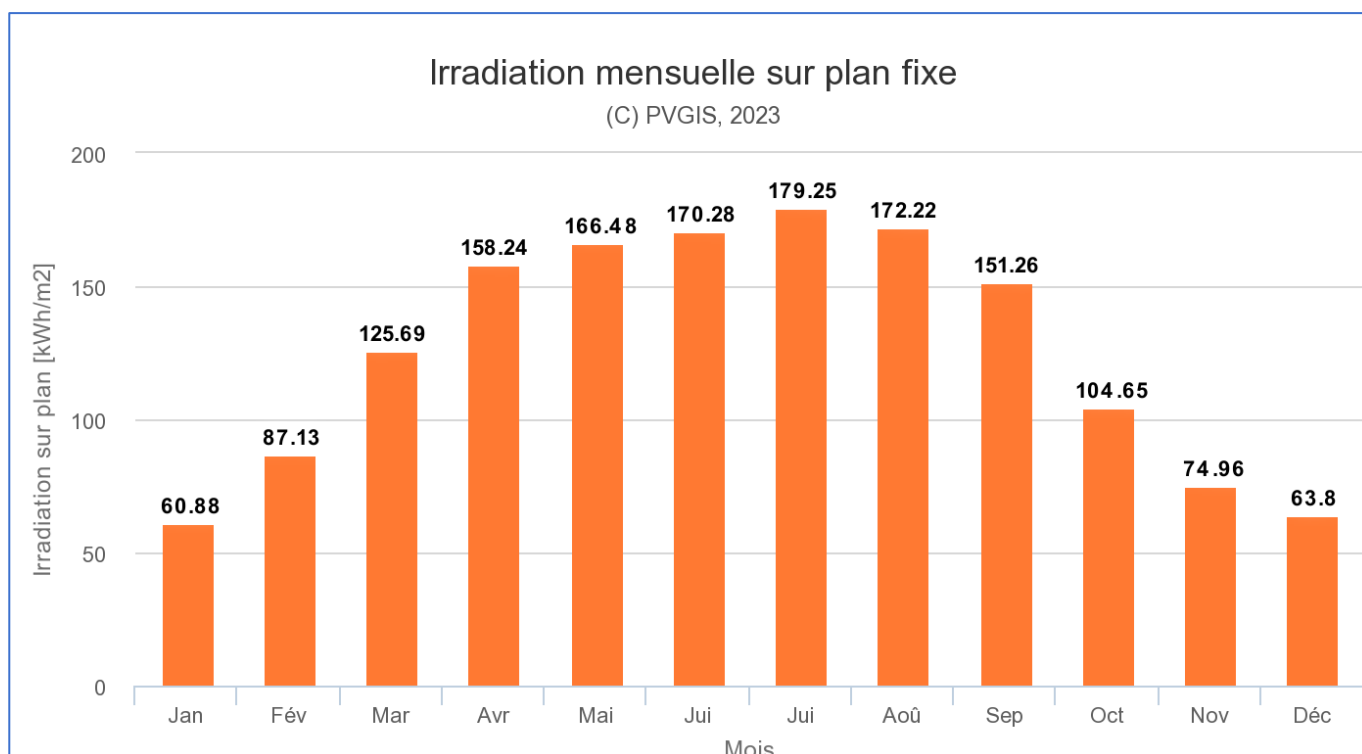


FIGURE 38 : EVOLUTION ANNUEL DE L'ENSOLEILLEMENT A LIRE – SOURCE : PVGIS

Dans cette simulation de l'ensoleillement, nous avons représenté l'ensoleillement sur un plan fixe.

La moyenne de l'irradiation globale sur l'année est de 107 kWh/m².mois pour une inclinaison horizontale, et de 110 kWh/m².mois pour une inclinaison à 35° plein sud.

Ceci représente pour cette zone d'étude une irradiation globale annuelle de **1290 kWh/m².an pour une inclinaison horizontale, et de 1515 kWh/m².an pour une inclinaison à 35° plein sud.** Ces valeurs sont tout à fait cohérentes avec les moyennes régionales précisées précédemment.

Les masques proches entrent également en compte dans l'évaluation du potentiel solaire.



FIGURE 39 : PRINCIPE DES MASQUES PROCHES

En effet, toute surface orientée au sud mais ombragée par des éléments divers (bâtiment adjacent, végétation, ...) représente un manque à gagner énergétique conséquent. Il faut donc veiller à les éviter dans la mesure du possible.

En règle générale, on veillera à respecter les distances entre bâtiments suivantes pour une surface plane :

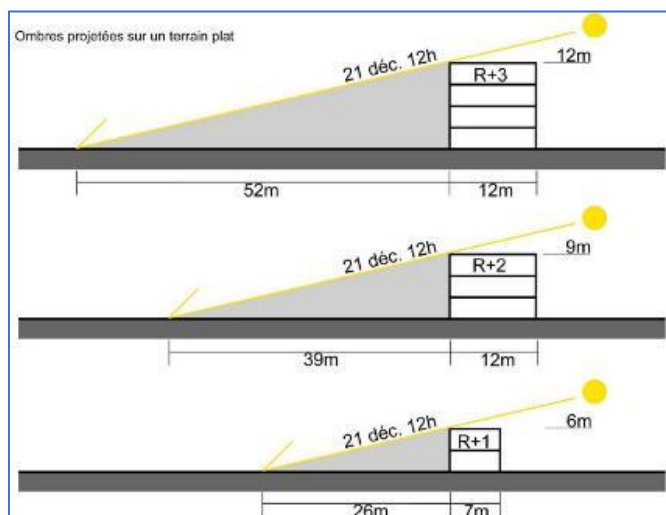


FIGURE 40 : OMBRES PROJETEES SUR UN TERRAIN PLAT

L'implantation définitive des bâtiments devra respecter les distances impliquées par les ombres portées, afin de favoriser les apports solaires directs, en considérant le contexte topographique contraignant du site.

6.3.2. Solaire thermique

6.3.2.1. Réseau de chaleur solaire thermique

Les panneaux solaires captent la chaleur du rayonnement solaire pour chauffer un fluide caloporteur. Il est ensuite utilisé pour alimenter le réseau de chaleur. Il est nécessaire de prévoir une énergie d'appoint pour les jours moins ensoleillés. Cette technologie nécessite un encombrement par les champs de capteurs et un volume de stockage.



FIGURE 41 : SOLAIRE THERMIQUE – SOURCE : REPUBLICAIN-LORRAIN.FR

A l'échelle de l'opération, un réseau de chaleur solaire pour alimenter les bâtiments à la fois en chauffage et en eau chaude sanitaire, semble donc adapté au projet. Le projet nécessitera un dimensionnement rigoureux afin d'éviter des surcoûts et surchauffes, tout en obtenant les meilleurs résultats énergétiques.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Energie propre (limite les émissions de GES). ➤ Nécessite peu d'entretien. ➤ Durée de vie de 15 ans minimum. ➤ Ressource inépuisable et gratuite. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ne couvre pas 100 % des besoins (2ème source d'appoint). ➤ Risque de surchauffe des équipements si surdimensionnement. ➤ Investissement important. ➤ Encombrement important.

Approche Energétique et Economique

Les estimations des consommations liées à la production thermique par type d'énergie utilisée et de la dépense énergétique annuelle dans le cadre d'une préparation de chauffage et d'ECS solaire pour les bâtiments concernés sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Il est considéré en investissements, la mise en place d'une installation de préparation d'eau chaude solaire pour les bâtiments concernés, comprenant l'ensemble de l'installation (Capteurs, stockage, raccordement au réseau de distribution, accessoires hydrauliques, main d'œuvre, ...).

Typologie	Type production chauffage et ECS	Consos Gaz (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements ** (€ TTC)
Bureaux	Solaire thermique + gaz	13	10	4 000	11 500	310 000
Industrie		17	53	12 900	14 600	90 000
Artisanat		158	257	73 300	90 100	640 000
RC solaire						1 040 000
Total	Solaire thermique + gaz	187	321	90 200	116 200	2 080 000

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec solaire thermique :

	Scénario solaire thermique	Gain par rapport à la référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	508	217
Dépense énergétique annuelle (€ HT/an)	116 200	26 000
Emission CO2 (tCO2/an)	77	59
Surinvestissement (€ TTC)	1 320 000	

6.3.2.2. Systèmes Solaires Combinés (SSC)

Les systèmes solaires combinés permettent, grâce à l'énergie du soleil, de réaliser une partie des besoins en chauffage et en ECS des bâtiments. Un appoint est également nécessaire.

La surface de capteurs nécessaire sera dimensionnée afin d'obtenir un taux de couverture des besoins par le solaire de l'ordre de 30 à 40% (En général, la surface de capteurs représente environ 10% de la surface habitable). Cette valeur est fixée afin d'éviter au maximum la surchauffe estivale des panneaux solaires thermiques, étant donné que les besoins en chauffage sont nuls à cette saison. Des taux de couverture supérieurs peuvent être envisagés dans les cas où il existe un système de décharge dans un équipement fonctionnant l'été, à l'exemple d'une piscine.

La réalisation d'un compromis entre la gestion de la surchauffe et la réalisation du chauffage par le solaire est essentielle à la définition du taux de couverture. Ce compromis est illustré par le schéma suivant, montrant la désynchronisation entre les besoins et les apports solaires.

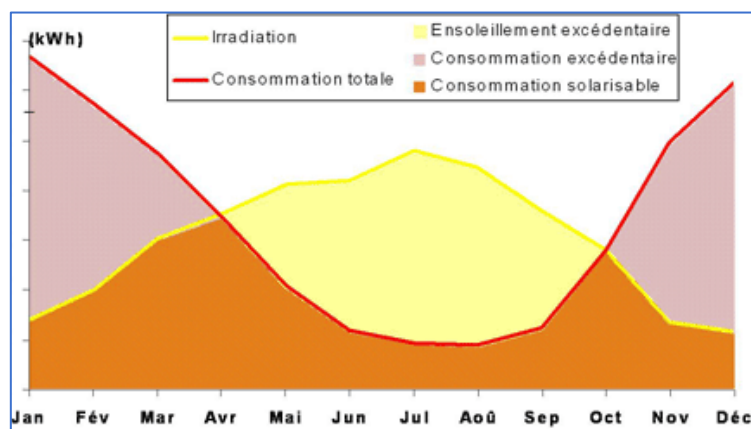


FIGURE 42 : TAUX DE COUVERTURE D'UN SSC

Cette technologie est principalement destinée au logement individuel et aux bâtiments industriels étant donné la surface de capteurs à mettre en œuvre afin d'avoir un taux de couverture intéressant.

Lorsque cette technologie sera choisie, on veillera à optimiser l'orientation des capteurs comme il a été précisé précédemment, afin de rendre l'installation la plus performante possible. Cette optimisation passe par une bonne implantation des châssis dans le cas de toiture plate et une optimisation de l'orientation du bâtiment pour une toiture à pans inclinés.

La mise en place de Systèmes Solaires Combinés est donc envisageable à l'échelle du projet pour les bâtiments industriels, mais nécessitera un dimensionnement rigoureux afin d'éviter des surcoûts et surchauffes, tout en obtenant les meilleurs résultats énergétiques.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Energie propre (limite les émissions de GES). ➤ Nécessite peu d'entretien. ➤ Durée de vie de 15 ans minimum. ➤ Ressource inépuisable et gratuite. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ne couvre pas 100 % des besoins (2ème source d'appoint). ➤ Risque de surchauffe des équipements si surdimensionnement. ➤ Inadapté aux établissements fermés en période estivale (écoles, ...). ➤ Investissement important. ➤ Surface de capteurs importante.

La surface de capteurs nécessaire, devra alors être dimensionnée en fonction des besoins et d'un taux de couverture choisi raisonnablement. Cette surface, alors théoriquement adaptée à la taille du bâtiment, pourra alors être installée en toiture, et si possible intégrée architecturalement à cette dernière.

Pour ce faire le dispositif le plus adapté pour les industriels est le procédé thermo-solaire calibré pour alimenter les procédés industriels en vapeur ou en eau chaude. Ces installations sont encore peu développées en France mais sont actuellement en phase de test dans des pays voisins comme l'Espagne ou le Portugal où l'ensoleillement est propice à ce type d'installation.

En effet, les industries disposent souvent de toitures inutilisées et exposées au soleil. Le principe est donc d'utiliser ces toitures pour installer des concentrateurs solaires paraboliques présentés ci-dessous :



FIGURE 43 : CONCENTRATEURS SOLAIRES PARABOLIQUES

Les miroirs paraboliques s'orientent automatiquement et continuellement vers le soleil, ce qui leur permet de concentrer l'irradiation solaire sur un tube sous vide dans lequel circule un fluide calorifique. Ce fluide calorifique absorbe la chaleur concentrée, de sorte à atteindre des températures en excès de 250°C. Le fluide est pompé et transporté à travers une tuyauterie isolée jusqu'à ce qu'il atteigne un échangeur de chaleur, où le surplus de chaleur est transféré au procédé interne.



FIGURE 44 : CHAUFFE-EAU SOLAIRES SUR UN BATIMENT INDUSTRIEL

L'installation inclut une station météorologique capable de détecter les intempéries (pluie, neige, grêle, sable, vents forts). Ceci permet de signaler au système de retourner les miroirs en position sécuritaire.

Le système fonctionne effectivement comme une « chaudière solaire » capable de compléter le procédé de chauffage existant. Pour les installations de plus petite taille, pratiquement l'entièreté de l'énergie solaire est directement consommée par le procédé aussitôt qu'elle est produite. Les installations de plus grande taille peuvent reposer sur une unité de stockage spéciale afin de stocker l'excès d'énergie produite, qui pourra alors être utilisée lors des journées plus nuageuses.

Ce type d'installation constitue une solution intéressante pour les industries situées en milieu urbain et dont les besoins d'approvisionnement en chaleur sont importants. Les applications grâce à ce type de système sont très variées et peuvent permettre à la fois d'alimenter le process industriel que l'utilisation pour la production d'eau chaude sanitaire et de chauffage.

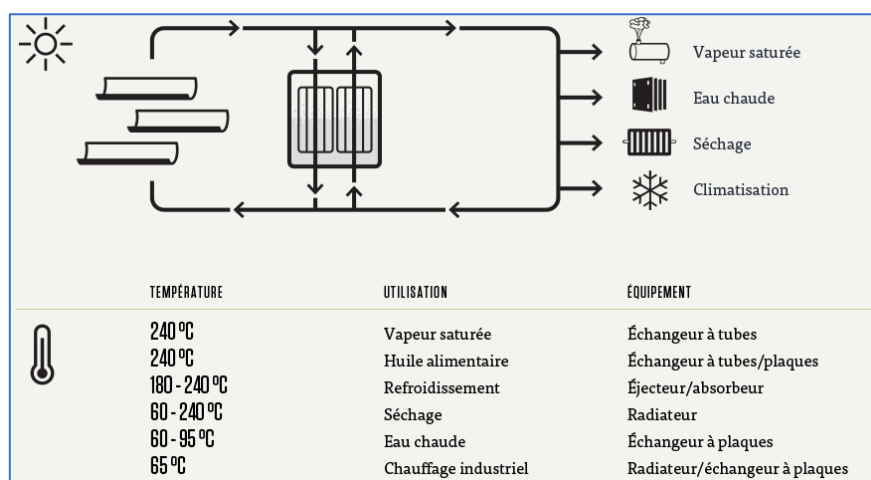


FIGURE 45 : PRINCIPE DU CHAUFFE-EAU SOLAIRES

Dans notre cas, nous considérerons uniquement les gains réalisés sur la production d'eau chaude sanitaire et de chauffage. Les retours d'expériences étant encore faibles sur ce type d'installations, nous nous baserons sur des ratios par m² et des estimations sur les installations actuellement en fonctionnement. **Ces chiffres ne pourront en aucun cas être utilisés sans une vérification par une étude plus poussée.**

D'autre part, ces chiffres sont exploitables sous réserve d'une bonne orientation des panneaux et d'un ensoleillement annuel stable.

On considérera en hypothèse un taux de couverture de 25 % pour le chauffage et 40 % pour l'eau chaude sanitaire pour les bâtiments industriels. Le reste des besoins seront assurés par les chaudières gaz.

La mise en place de ce dispositif est une solution qui semble techniquement adaptée aux bâtiments industriels qui seront, à priori, occupés toute l'année et qui ont des besoins constants.

Approche Energétique et Economique

Les estimations des consommations liées à la production thermique par type d'énergie utilisée et de la dépense énergétique annuelle dans le cadre d'une préparation d'ECS solaire pour les bâtiments concernés sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Il est considéré en investissements, la mise en place d'une installation de préparation d'eau chaude solaire pour les bâtiments concernés, comprenant l'ensemble de l'installation (Capteurs, stockage, raccordement au réseau de distribution, accessoires hydrauliques, main d'œuvre, ...).

Pour les bâtiments concernés par une potentielle mise en œuvre de préparation d'ECS solaire, le système de chauffage du scénario de référence est conservé, ainsi que le système de préparation d'ECS de référence assurant dans le cadre de ce scénario le rôle d'appoint des chauffe-eaux solaire.

Typologie	Type production chauffage et ECS	Consos Gaz (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements ** (€ TTC)
Bureaux	Gaz naturel	55	10	9 800	15 800	300 000
Industrie	Thermo-solaire +	21	53	13 500	15 500	90 000
Artisanat	Gaz naturel	201	257	79 500	96 000	680 000
Total	Thermo-solaire + gaz naturel	277	321	102 800	127 300	1 070 000

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec SCC :

	Scénario SCC	Gain par rapport à la référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	598	127
Dépense énergétique annuelle (€ HT/an)	127 300	14 900
Emission CO2 (tCO2/an)	101	34
Surinvestissement (€ TTC)		310 000

6.3.3. Solaire photovoltaïque

La mise en place de capteurs solaires photovoltaïques est envisageable sur cette opération avec un objectif de revente de l'énergie plus que d'autoconsommation afin de bénéficier des tarifs de rachat et ainsi d'en améliorer la rentabilité économique.

Il est rappelé que la **Loi Energie Climat du 8 novembre 2019** via l'article 47, impose la création de **toiture végétalisée ou d'installation photovoltaïque** sur au moins 30% de la surface totale de toiture et d'ombrière créée pour toute nouvelle construction (création et extension) de plus de 1000m² d'emprise au sol à usage :

- ▶ Commercial soumis à autorisation au titre 1°, 2°, 4°, 5° et 7° de l'article L.752-1 du code de commerce
- ▶ Industriel
- ▶ Artisanal
- ▶ D'entrepôt
- ▶ De hangar non ouvert au public faisant l'objet d'une exploitation commerciale
- ▶ De Parc de stationnement couverts accessibles au public

La mise en place de panneaux solaires photovoltaïque est envisageable à l'échelle du projet. Sa faisabilité technique sera néanmoins tributaire de la bonne orientation des panneaux ainsi que de la surface disponible.

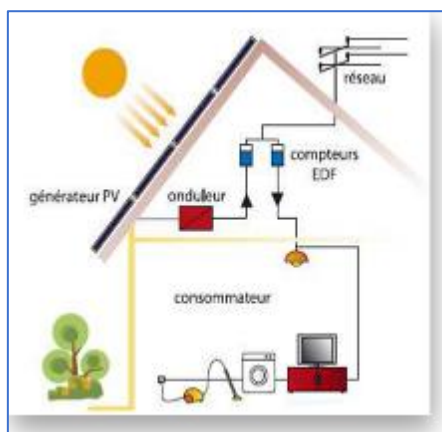


FIGURE 46 : PRINCIPE DU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

On donne ci-dessous les tarifs de rachat du photovoltaïque jusqu'au 31/10/2022 pour les différentes typologies de bâtiment :

Type d'installation	Tarif (c€/kWh)	
Intégrée au bâti	[0-3] kWc	20,22
	[3-9] kWc	17,18
Intégration simplifiée au bâti (ISB) <36kWc	[0-3] kWc	20,22
	[3-9] kWc	17,18
Non intégré au bâti ou ISB <100 kWc	[0-36] kWc	12,31
	[36-100] kWc	10,70

En ne prenant pas en compte une baisse des coûts d'investissement d'une telle installation, sa rentabilité économique est mise en péril par l'évolution du tarif de rachat du photovoltaïque prévisionnelle, comme le montre le graphique suivant :

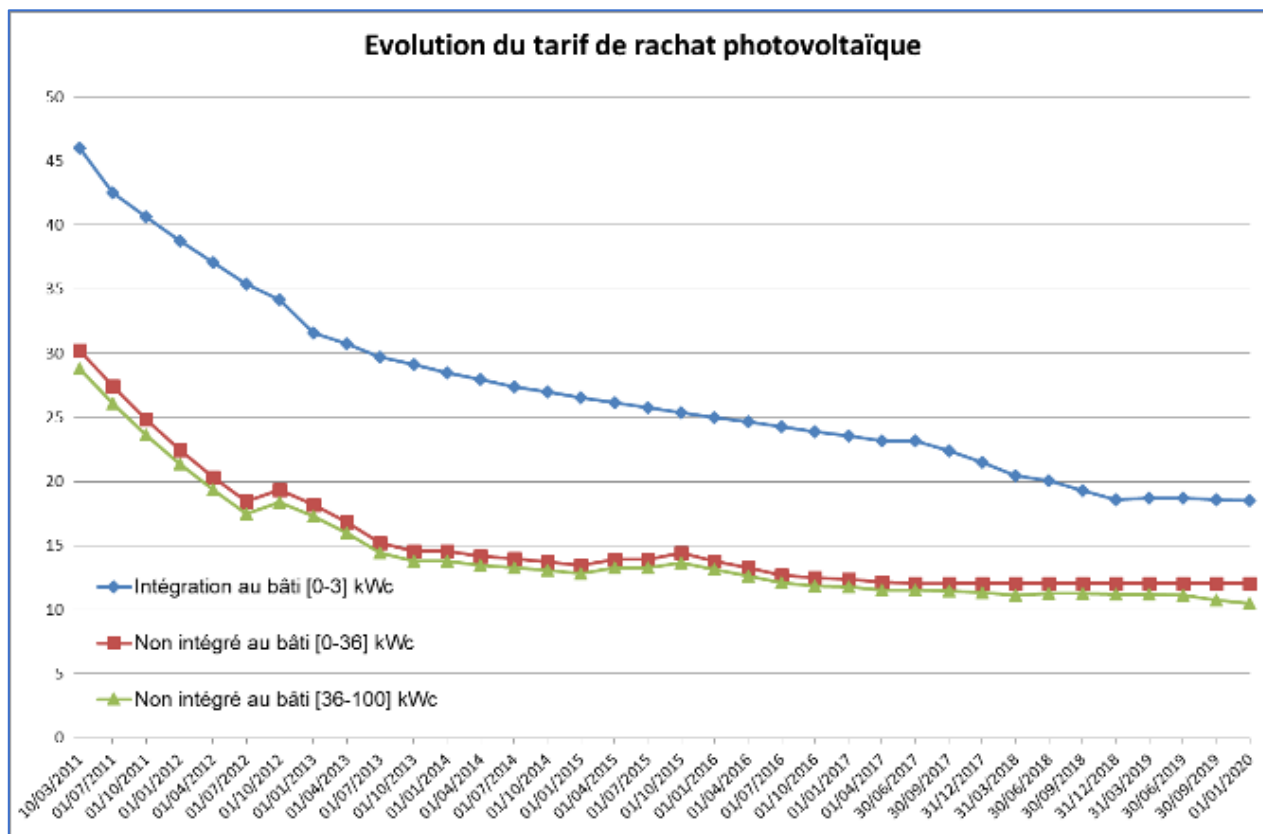




FIGURE 47 : EVOLUTION DU TARIF DE RACHAT DU PHOTOVOLTAÏQUE

La plupart des fabricants de panneaux solaires garantissent un rendement de production de 80 % minimum au bout de 20 ans par rapport au rendement initial.

Les capteurs peuvent dans la mesure du possible être intégrés aux toitures inclinées ou sur supports inclinés pour les toitures terrasses non végétalisées. Dans ce dernier cas, l'implantation de capteurs solaires nécessitera la mise en œuvre de châssis inclinés à environ 30° (meilleur rendement des capteurs photovoltaïques à 30° qu'à 45°).

Il existe plusieurs technologies de solaire photovoltaïque :

Silicium monocristallin	Silicium poly cristallin	Silicium amorphe
Meilleur rendement au m ² . Coût le plus élevé pour une même puissance.	Meilleur rapport qualité/prix et les plus utilisés. Bon rendement. Bonne durée de vie (plus de 35 ans). Peuvent être fabriqués à partir de déchets de l'électronique.	Souples (facilité de pose). Meilleure production par ensoleillement faible ou diffus. Rendement acceptable à faible inclinaison (<5%). Rendement divisé par deux par rapport à celui du cristallin. Le prix au m ² plus faible que pour des panneaux solaires composés de cellules.
		

La solution la mieux pressentie pour le projet est le silicium poly cristallin.

La mise en place de capteurs solaires photovoltaïques est envisageable sur cette opération pour l'ensemble des projets. Les productions générées varieront selon les types de technologie mises en œuvre, qui seront conditionnées par les formes urbaines choisies.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Production d'énergie électrique ($\approx 1\ 000\ \text{kWh/m}^2/\text{an}$). <ul style="list-style-type: none"> • Soit vendue au distributeur d'électricité (voir tarif ci-avant). • Soit consommée directement sur place. ➤ Ne consomme pas d'énergie fossile (n'émet aucun polluant). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Filière de recyclage des cellules photovoltaïques. ➤ Tarif de rachat en baisse.

Approche Energétique et Economique

Il a été considéré une installation de panneaux photovoltaïques en toiture de chaque bâtiment avec des surfaces disponible évalué à partir d'un ratio moyen de surface disponible pour ce type de bâtiment. Aux vues des tarifs d'achats de l'électricité et du tarif de revente actuelle, il a été fait le choix de l'autoconsommation totale sans injection dans la suite de l'étude.

Afin de donner des ordres de grandeur des investissements pour ce type d'installation et de sa rentabilité selon les hypothèses prises, une approche économique a été effectuée et est présentée ci-dessous :

Typologie	Surface de capteurs Potentielle (m ²)	Puissance installée potentielle (kWc)	Production annuelle potentielle (MWh/an)	Investissements (€ TTC)	Economie (€ /an)	Part des dépenses annuelles d'électricité compensées par les économies
Bureaux	79	12	10	60 000	2 100	0,13
Industrie	200	30	26	70 000	5 300	0,32
Artisanat	1 470	220	193	500 000	38 500	0,35
Total	1 749	261	230	630 000	45 900	0,32

La production annuelle potentielle d'électricité sur les bâtiments présentant la meilleure configuration est estimée à environ **230 MWh/an**, soit une économie de l'ordre de 93 700€ pour un investissement de l'ordre de **630 000€ TTC**.

Le tableau suivant met en évidence les consommations et les coûts de mise en œuvre du photovoltaïque avec la solution de référence.

Typologie	Type production chauffage et ECS	Consos Gaz (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements ** (€ TTC)
Bureaux	Photovoltaïque	55	0	7 600	15 100	310 000
Industrie		34	26	10 000	11 800	130 000
Artisanat		316	64	57 200	74 000	960 000
Total	Photovoltaïque	404	91	74 800	100 900	1 400 000

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario :

	Scénario photovoltaïques	Gain par rapport à la référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	495	230
Dépense énergétique annuelle (€ HT/an)	100 900	41 300
Emission CO2 (tCO2/an)	117	19
Surinvestissement (€ TTC)	640 000	

6.4. Le gisement net issu de la valorisation des déchets organiques

6.4.1. Usine d'incinération des déchets

Les contraintes d'implantation en milieu urbain ou semi-urbain, et la méconnaissance actuelle des réels types d'activités sur le projet ne permettent pour le moment pas d'envisager ce type d'installation. Pour mettre en place ce type de projet, il faudra des besoins de chaleur important justifiant un tel investissement et une réflexion globale visant à mobiliser plusieurs acteurs locaux. De plus deux usines d'incinérations sont déjà présente à Nantes.

Le potentiel de valorisation d'incinération sur le secteur est donc limité. Cette solution n'apparaît donc pas comme étant pertinente pour le projet.

6.4.2. Les unités de méthanisation

La valorisation des déchets organiques est présente dans les environs.

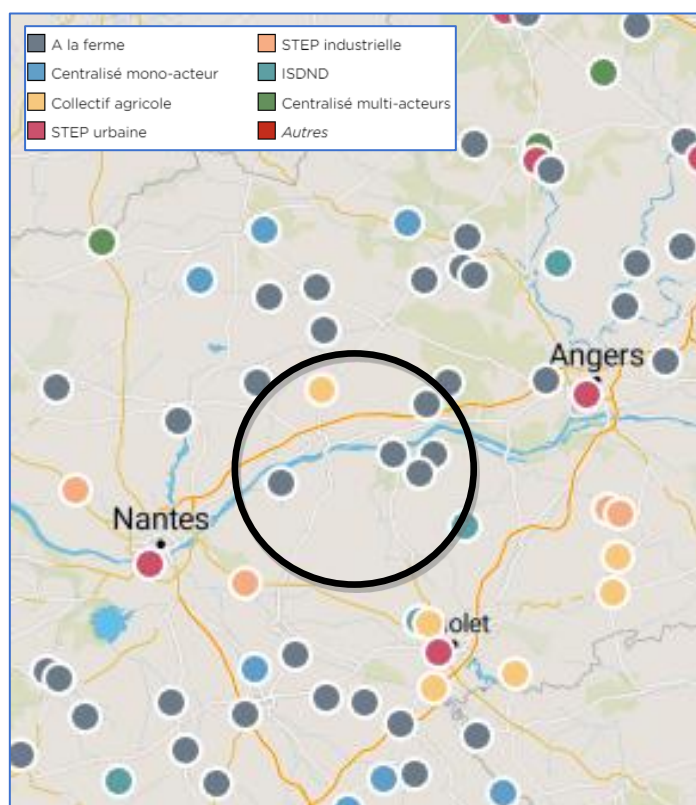


FIGURE 48 : INSTALLATIONS DE VALORISATION DE BIOGAZ EN FONCTIONNEMENT AU 1ER SEPTEMBRE 2022

Les contraintes d'implantation dans un parc d'activité, ne permettent pour le moment pas d'envisager ce type d'installation. Pour mettre en place ce type de projet, il faudra des besoins de chaleur important justifiant un tel investissement et une réflexion globale visant à mobiliser plusieurs acteurs locaux.

La production de biogaz par méthanisation consiste à stocker des déchets organiques dans une cuve cylindrique et hermétique appelée "digesteur" dans laquelle ils sont soumis, en l'absence d'oxygène, à l'action de bactéries.

Un brassage de la matière organique, éventuellement un apport d'eau, mais surtout un chauffage, accélèrent la fermentation et la production de gaz qui dure environ deux semaines. Ce procédé peut générer jusqu'à 500 m³ de gaz par tonne de déchets.

Le biogaz produit est composé en moyenne de 60% de méthane. Le procédé produit également un "digestat" qui est ensuite transformé en compost.

Une installation de méthanisation est consommatrice de surface foncière non prévue dans la programmation. De plus, l'un des principaux impacts sur l'environnement proche d'une méthanisation, outre l'aspect visuel, est l'odeur dégagée par le transport et la fermentation des matières organiques.

Le potentiel de valorisation des déchets organiques sur la zone d'étude n'est pas prouvé à ce stade du projet. Cette alternative n'apparaît donc pas comme étant pertinente à cette étape pour le projet.

6.5. Cogénération gaz naturel

6.5.1. Principe de fonctionnement

Dans l'objectif de valorisation du biogaz, le principe de la cogénération a été étudié. On parle de micro-cogénération pour des modules dont la puissance est inférieure à 36 kWe et de mini-cogénération pour des modules dont la puissance électrique est comprise entre 36 et 250 kWe. Ces deux types d'installations sont les plus courantes pour des applications résidentielles ou tertiaires.

Le principe de la cogénération consiste à produire de l'énergie mécanique (convertie en électricité) et de la chaleur en même temps et dans une même installation et à partir d'une même source d'énergie (co = ensemble ; génération = production).

Le moteur thermique chauffe l'eau du circuit primaire. La chaleur excédentaire du moteur (radiateur et échappement) est récupérée via un échangeur et alimente le circuit de chauffage et/ou l'ECS du bâtiment. Le générateur, couplé au moteur thermique, produit de l'électricité qui peut être autoconsommée et/ou revendue au réseau de distribution.

Le module s'installe dans une chaufferie classique et s'associe généralement à une chaudière gaz à condensation dans une logique base/appoint.

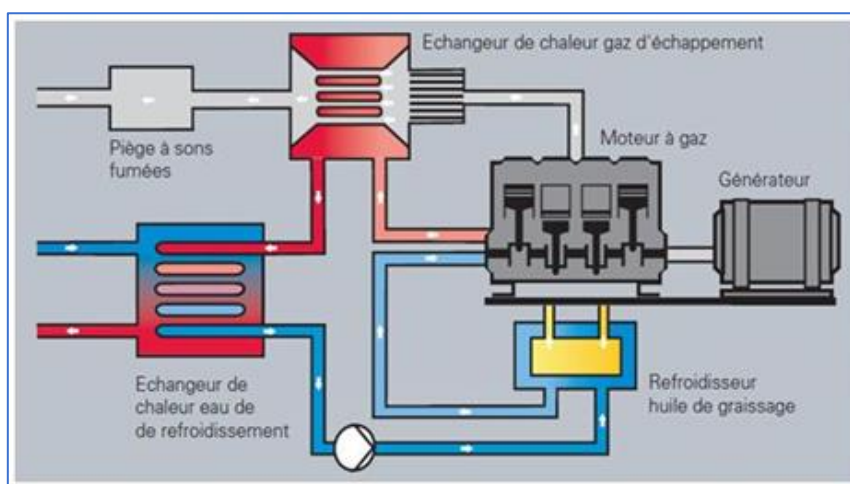


FIGURE 49 : PRINCIPE DE LA COGENERATION GAZ

Différents combustibles peuvent être utilisés pour produire de la chaleur :

- ▶ Le gaz naturel,
- ▶ Le fioul,
- ▶ Le bois,
- ▶ Le biogaz issu de la fermentation de matières organiques végétales ou animales,
- ▶ Des ordures ménagères.

Contrairement à la plupart des centrales électriques actuelles, la cogénération permet de récupérer la chaleur fatale perdue lors de la production électrique et de la valoriser. Elle constitue donc un moyen de production d'électricité plus performant : 20 à 30 % plus efficace que des productions séparées. De plus, les modules de cogénération produisent de l'électricité de manière locale (au plus proche des consommateurs), ce qui a pour effet de réduire les pertes en ligne.

6.5.2. La micro cogénération :

A l'origine, les installations de cogénérations sont destinées aux grands bâtiments ayant une demande de chaleur importante. Aujourd'hui, les différents producteurs proposent aussi une solution pour les habitations familiales : la micro-cogénération.

Une unité de micro-cogénération fonctionne de la même manière qu'une chaudière classique. Au moment où la demande de chaleur apparaît, la chaudière se met en route. En plus de la chaleur, il y a aussi production simultanée d'électricité. Cet appareil de la taille d'un réfrigérateur fournit également de l'eau chaude sanitaire.

Les appareils produisent chaleur et électricité à l'aide d'un moteur Stirling. Ce moteur est mû par la chaleur. Celle-ci est générée par la combustion de gaz naturel ou de fioul. À son tour, le moteur met en mouvement un cylindre qui actionne le générateur pour la production d'électricité.

L'électricité ainsi produite par l'unité de micro-cogénération suffit pour couvrir une bonne partie de la consommation d'électricité familiale. En cas de surproduction, l'électricité peut être injectée sur le réseau, comme dans le cas de panneaux photovoltaïques.

L'investissement pour une unité de micro-cogénération varie entre 7 000 et 10 000 euros. Soit nettement plus qu'une chaudière à condensation classique. Mais du fait de sa faible consommation de combustible et de l'électricité qu'il produit, le système s'amortit de manière assez rapide.

L'achat d'une unité de micro-cogénération n'est par ailleurs intéressante seulement si il y a suffisamment à chauffer. Les habitations bien isolées ou passives ayant une faible demande de chaleur ne tirent aucun profit d'une telle installation.

Comme critère, on peut retenir une consommation de chaleur annuelle de minimum 15 000 kWh pour assurer la rentabilité de l'installation.

6.5.3. Tarif de rachat

L'Arrêté du 21 août 2020 met fin au rachat de l'électricité produite par une cogénération, aussi bien en complément de revenu qu'en obligation d'achat. Il sera uniquement possible de valoriser ce type de production par l'autoconsommation sur site ou encore l'autoconsommation collective.

Le potentiel de valorisation du gaz naturel au travers d'une installation de cogénération peut être envisageable pour les bâtiments industriels. Aux vues de la méconnaissance du projet à ce stade et l'impossibilité de revendre l'électricité, il n'est pas pertinent de retenir le projet à ce stade.

6.6. Le gisement géothermique net

6.6.1. La géothermie basse énergie (profonde)

Ce moyen de production d'énergie présente l'avantage de ne nécessiter aucun combustible. Le coût de production de l'énergie dépend alors seulement des consommations des équipements du réseau (pompes, vannes, ...).

La présence d'une énergie d'appoint est cependant nécessaire pendant les périodes où les besoins sont importants.

Cette technologie ne sera envisageable qu'avec une zone de desserte énergétique présentant une forte densité et de forts besoins.

La faisabilité de ce type d'installation sera le cas échéant vérifiée par une étude géothermique détaillée, s'accompagnant d'un forage d'étude afin de vérifier le potentiel réel exploitable.

Dans l'éventualité d'un potentiel intéressant, mais trop faible pour une alimentation directe du circuit de chauffage, (une eau géothermale à 40-45°C par exemple), la mise en place d'une pompe à chaleur de grosse puissance en relève s'avérerait nécessaire. Cependant, les contraintes d'études et de densité énergétiques restent valables pour cette solution intermédiaire.

Cette solution énergétique paraît peu adaptée au projet. D'une part du fait de la méconnaissance du réel potentiel local, et d'autre part du fait de la hauteur des investissements en comparaison de la hauteur des besoins énergétiques du projet.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ Utilise la chaleur sous terre pour couvrir une large gamme d'usages : réseau de chauffage urbain, chauffage de serres, utilisation de chaleur dans les process industriels, ...➤ Contribue à la réduction des émissions de GES.	<ul style="list-style-type: none">➤ Nécessite des études approfondies du sous-sol.➤ Impose la mise en œuvre de forages à des profondeurs importantes (2 km).➤ Nécessite une chaudière d'appoint en cas de besoin.

6.6.2. La géothermie très basse énergie

6.6.2.1. Géothermie capteurs horizontaux

Concernant la géothermie très basse énergie avec des capteurs horizontaux, elle nécessite une surface de pose 1,5 à 2 fois supérieure à celle de la surface chauffée des bâtiments.

De plus, cette surface d'implantation doit être perméable aux eaux de pluie, qui jouent un rôle déterminant dans la régénération de la chaleur du sol.

Les surfaces nécessaires à l'implantation de capteurs horizontaux ne peuvent également être arborées du fait de la potentielle dégradation des capteurs par les racines.

Pour ce type d'installation la pente maximale adaptée à l'implantation des capteurs géothermiques est de 20 %. A l'échelle du site la dénivelée n'apparaît pas comme étant contraignante pour l'implantation des capteurs.

Ce type d'installation est plutôt adapté pour des bâtiments de type maisons individuelles ou éventuellement très petits tertiaires, mais peu propice aux grands bâtiments, en raison de la surface de captage nécessaire.

Au regard des hypothèses, la mise en place de pompes à chaleur géothermiques avec capteurs horizontaux semble donc inadaptée au projet au vue des besoins des bâtiments et de la surface foncière disponible.

6.6.2.2. Géothermie capteurs verticaux

La géothermie très basse énergie avec des capteurs géothermiques verticaux, descendant à une profondeur de 80-110 m (selon l'étude de sol) nécessite la mise en place de forages sur le projet. Le nombre de puits est directement lié aux besoins énergétiques des bâtiments à chauffer, chaque puits nécessitant chacun une surface de 50 x 50 cm environ et distants d'une dizaine de mètres au moins. Ils reçoivent les sondes géothermiques, constituées de quatre tubes PEHD (Ø 25 ou 32 mm) formés en doubles U (soudés deux par deux à la base) et où circule de l'eau glycolée en circuit fermé.

Une fois les sondes reliées à la PAC, elles sont scellées dans leurs puits par injection d'un coulis à base de ciment et d'argile. Ce mélange, tout en protégeant les capteurs des pierres et racines, permet d'améliorer leur conductivité. La capacité d'absorption calorifique d'un capteur vertical est en moyenne de 50 W par mètre de forage. A titre d'exemple, deux sondes profondes de 50 m peuvent ainsi chauffer 120 m² habitables. Parfois, la nature du sol (terre trop friable) oblige à tuber les sondes, augmentant ainsi le coût global de l'intervention.

On retiendra également que cette technologie n'est pas une source d'énergie complètement « propre ». En effet, seulement une partie des calories nécessaires pour couvrir les besoins du bâtiment sont puisées dans le sol. Un appoint électrique par compression est réalisé pour atteindre une température de transfert de calories suffisante.

Il est donc important d'opter pour un matériel présentant un coefficient de performance (COP) élevé, afin de réduire au maximum cet appoint électrique.

Cette technologie, même si elle nécessite moins de surface foncière que la mise en place de capteurs horizontaux, requiert une surface foncière disponible pour la mise en place des forages qui reste relativement importante.

Pour les bâtiments du projet, ce système sera en théorie entièrement compatible, sous réserve de présenter une surface foncière adéquate.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ Une PAC peut être réversible et fournir de la chaleur l'hiver et du rafraîchissement l'été.➤ Coefficient de performance (COP) élevé > 4.➤ Possibilité de raccordement sur un réseau de chaleur.➤ Pas de stockage de combustible.	<ul style="list-style-type: none">➤ Difficulté de mise en œuvre (capteurs enterrés).➤ Investissement relativement lourd.➤ Surface de terrain nécessaire importante.➤ Pas de plantation sur les capteurs (horizontaux).➤ Besoin d'électricité alourdissant le bilan en énergie primaire.

Approche Energétique et Economique

Les estimations des consommations liées à la production thermique par type d'énergie utilisée et de la dépense énergétique annuelle dans le cadre d'installations de géothermie très basse énergie sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Il est considéré en investissements, l'ensemble de l'installation thermique (Capteurs enterrés ou forages [selon cas], Pompe à chaleur, stockage ECS, raccordement au réseau de distribution, accessoires hydrauliques, main d'œuvre, circulateurs, distribution, émission, ...).

Il est considéré un COP moyen de 4 pour le système vertical avec une puissance moyenne apportée par le sol de l'ordre de 50 W / ml de forage.

Typologie	Type production chauffage et ECS	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements ** (€ TTC)
Bureaux	PAC Géothermique	24	4 200	8 700	220 000
Industrie		54	10 700	11 800	210 000
Artisanat		336	67 600	74 200	1 130 000
Total	PAC Géothermique	414	82 500	94 700	1 560 000

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec PAC Géothermique :

	Scénario PAC Géothermique	Gain par rapport à la référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	414	311
Dépense énergétique annuelle (€ HT/an)	94 700	47 500
Emission CO2 (tCO2/an)	34	102
Surinvestissement (€ TTC)	800 000	

6.7. Le gisement aérothermique net

Les pompes à chaleur aérothermiques, dans le cadre d'une production de chaleur décentralisée, entrent bien dans le potentiel de développement en énergies renouvelables.

6.7.1. Compression électrique

Pompe à chaleur

Le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur aérothermique avec compression électrique est de puiser des calories dans l'air extérieur via un évaporateur dans lequel passe un fluide frigorigène formant un cycle, puis d'apporter le complément de calories nécessaire à l'obtention de la température désirée en augmentant la pression du fluide frigorigène via un compresseur.

Contrairement à la géothermie, il n'y a pas de contrainte foncière d'encombrement lourde, les Pompes à Chaleur pourront être installées en toiture des bâtiments. Cependant, et tout comme pour la géothermie très basse énergie, cette technologie requiert un appoint électrique, d'où l'importance ici aussi de choisir un matériel présentant un coefficient de performance élevé. Il pourra en outre être choisie une solution mixte avec une chaudière Gaz qui substituera la PAC lors des périodes les plus froides de l'année, afin de limiter les consommations électriques hivernales, d'augmenter le rendement global du système et ainsi de réduire le coût en combustible du au fonctionnement.

La mise en place d'un mode de production de chaleur par Pompe à Chaleur Air/Eau devra appréhender l'impact acoustique de l'installation, selon l'arrêté du 31 août 2006, et veiller à le limiter à travers les actions suivantes :

- ▶ Mise en œuvre de plots anti-vibratiles,
- ▶ Implantation la plus éloignée possible du voisinage,
- ▶ Mise en œuvre de matériaux absorbants en façades exposées à la réflexion,
- ▶ Mise en œuvre de gravillons devant unité extérieure (plutôt que dalle béton),
- ▶ Mise en œuvre d'un écran anti-bruit brise-vue sur unité extérieure,
- ▶ Implantation sous les fenêtres, dans les angles rentrants et dans les cours intérieures proscrites, ...

Cette solution est envisageable à l'échelle du projet, pour les parties bureaux aux vues des hypothèses présentées.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">▶ Une PAC peut être réversible et fournir de la chaleur l'hiver et du rafraîchissement l'été.▶ Coefficient de performance (COP) élevé > 3,5.▶ Possibilité de raccordement sur un réseau de chaleur.▶ Simplicité de mise en œuvre.▶ Pas de stockage de combustible.	<ul style="list-style-type: none">▶ Pollution sonore (préjudiciable en cas de densité d'habitations forte).▶ Besoin d'électricité alourdissant le bilan en énergie primaire.▶ Plus éligibles au crédit d'impôt pour les particuliers depuis 2009.

Roof Top

Le Roof-Top est une centrale de climatisation installée en toiture. Il permet de ventiler, climatiser, chauffer l'air neuf à partir d'une arrivée d'électricité. Il est composé de deux parties :

- ▶ Compartiment de traitement de l'air. Il s'agit d'un caisson de centrale d'air.
- ▶ Compartiment de la génération de froid et de chaud. Il est composé d'un compresseur et d'un circuit frigorifique. Il peut alors fonctionner comme une pompe à chaleur pour fournir de la chaleur.

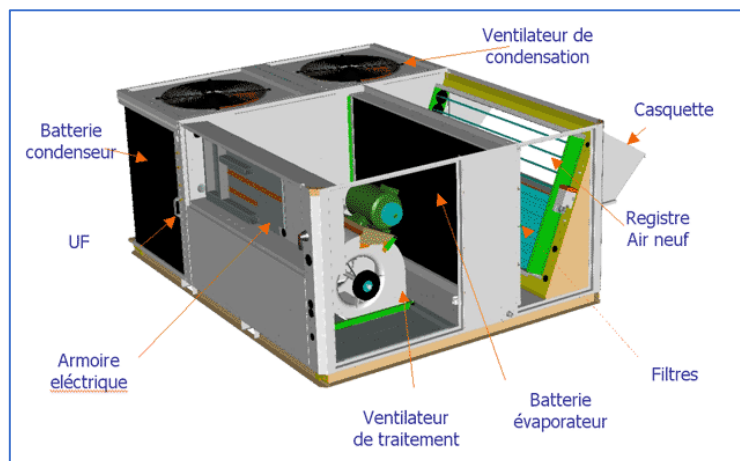


FIGURE 50 : ROOF-TOP

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Peut-être réversible et fournir de la chaleur l'hiver et du rafraîchissement l'été. ➤ Rapidité d'installation, Simplicité de mise en œuvre. ➤ Tout intégré (ventilation, climatisation, chauffage). ➤ Pas de stockage de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pollution sonore (préjudiciable en cas de densité d'habitations forte). ➤ Besoin d'électricité alourdissant le bilan en énergie primaire.

Approche Energétique et Economique

Il a été pris comme hypothèse l'installation de Roof Top, pour l'industrie et de PAC pour les autres bâtiments.

Les estimations des consommations d'énergie totales des bâtiments comprenant la production de chauffage et ECS par PAC Aérothermique Air-Eau et de la dépense énergétique annuelle associée sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Typologie	Type production chauffage et ECS	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements ** (€ TTC)
Bureaux	PAC Aérothermique	30	5 800	7 600	160 000
Industrie		61	12 300	12 800	90 000
Artisanat		370	73 900	76 400	530 000
Total	PAC Aérothermique	462	92 000	96 800	780 000

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec compression électrique :

	Scénario compression électrique	Gain par rapport à la référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	462	263
Dépense énergétique annuelle (€ HT/an)	96 800	45 400
Emission CO2 (tCO2/an)	37	98
Surinvestissement (€ TTC)		20 000

6.7.2. Aérothermie gaz naturel

La technologie de pompes à chaleur aérothermiques avec appoint au gaz naturel est relativement récente et encore peu développée sur le marché.

Le principe de fonctionnement est de puiser des calories dans l'air extérieur de la même façon que pour une machine à compression électrique. La différence est que le cycle n'est pas à compression mécanique comme pour la pompe à chaleur électrique, mais de type thermochimique. Le fluide frigorigène est tout d'abord un fluide composé d'un mélange eau/ammoniac, sans impact sur l'effet de serre, et le compresseur électrique est remplacé par un brûleur gaz identique à une chaudière.



FIGURE 51 : PRINCIPE DE L'AEROTHERMIE AU GAZ NATUREL

Ce système permet de bénéficier d'un apport de calories gratuit, selon le coefficient de performance de la machine. Tout comme pour un système à compression électrique, cette technologie nécessite un appoint d'énergie, mais n'est pas pénalisée en termes de consommation d'énergie primaire, puisque le coefficient de transformation d'énergie primaire est de 1 pour le gaz naturel et de 2,3 pour l'électricité.

Les plages de puissances aujourd'hui disponibles sur le marché sont situées entre 25 et 35 kW. Cependant les pompes à chaleur peuvent être mises en cascade afin d'atteindre des puissances plus importantes.

Cette solution n'est pas envisageable à l'échelle du projet, les pompes à chaleur aérothermiques sont inadaptées aux vues des puissances des bâtiments.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Possibilité de se raccorder au réseau de Gaz. ➤ Simplicité de mise en œuvre. ➤ Etiquette énergétique plus intéressante que pour une PAC à compression électrique. ➤ Nuisances sonores réduites. ➤ Fluide frigorigène remplacé par une solution eau/ammoniac. ➤ Brûleur modulant permettant d'adapter la puissance de l'équipement en fonction de la variation des charges. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilisation d'une ressource fossile en appoint. ➤ Plages de puissances limitées.

6.8. Récupération d'énergie fatale

Il est possible de récupérer de l'énergie fatale sur des process industriels afin de la réinjecter sur un réseau de chaleur. Il est notamment envisageable de faire de la récupération sur :

- ▶ Les groupes froids,
- ▶ Les eaux usées,
- ▶ Les fumées,
- ▶ Les process thermiques,
- ▶ ...

Il est possible de coupler cette solution avec PAC, afin de restituer une puissance plus importante

Aux vues de la méconnaissance des futurs projets implanté sur la zone et de leur process, cette solution n'est pas retenue à ce stade.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Coefficient de performance (COP) élevé. ➤ Possibilité de raccordement sur un réseau de chaleur. ➤ Utilisation d'énergie fatale. ➤ Pas de stockage de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pollution sonore (PAC). ➤ Besoin d'électricité alourdissant le bilan en énergie primaire (PAC). ➤ Dépend du process

6.9. Le gisement éolien net

6.9.1. Vents dominants

Les vents dominants pour la station de référence la plus proche, c'est-à-dire Sucé-sur-Erdre/Mazerolles sont sud-sud-ouest, comme le montre le graphique ci-dessous

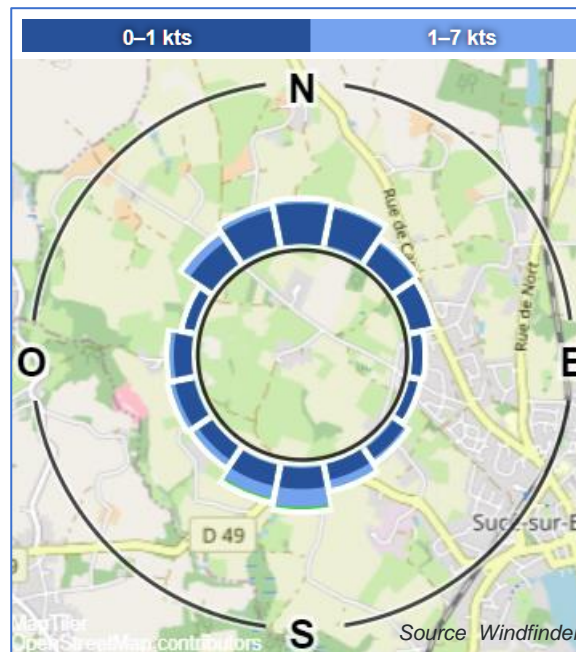


FIGURE 52 : DIRECTION ET REPARTITION DE LA FORCE DU VENT

La vitesse moyenne du vent sur l'année est de 9 kts (nœuds).

Ceci a pour conséquence au niveau du projet, de prévoir un aménagement qui protège les bâtiments des vents dominants d'Ouest afin de limiter la convection sur les surfaces de bâtiments et ainsi de générer des déperditions thermiques plus importantes.

6.9.2. Grand éolien

Le potentiel éolien est relativement difficile à déterminer et ne peut être défini précisément qu'à partir d'une campagne de mesure de qualité préalable, le plus souvent indispensable à l'étude du potentiel éolien de référence du site. Par ailleurs, l'implantation de ce type d'équipement n'est autorisée qu'à une distance minimale de 500 m d'habitations.

La zone de l'étude se situe dans une zone défavorable à l'implantation d'éolienne.

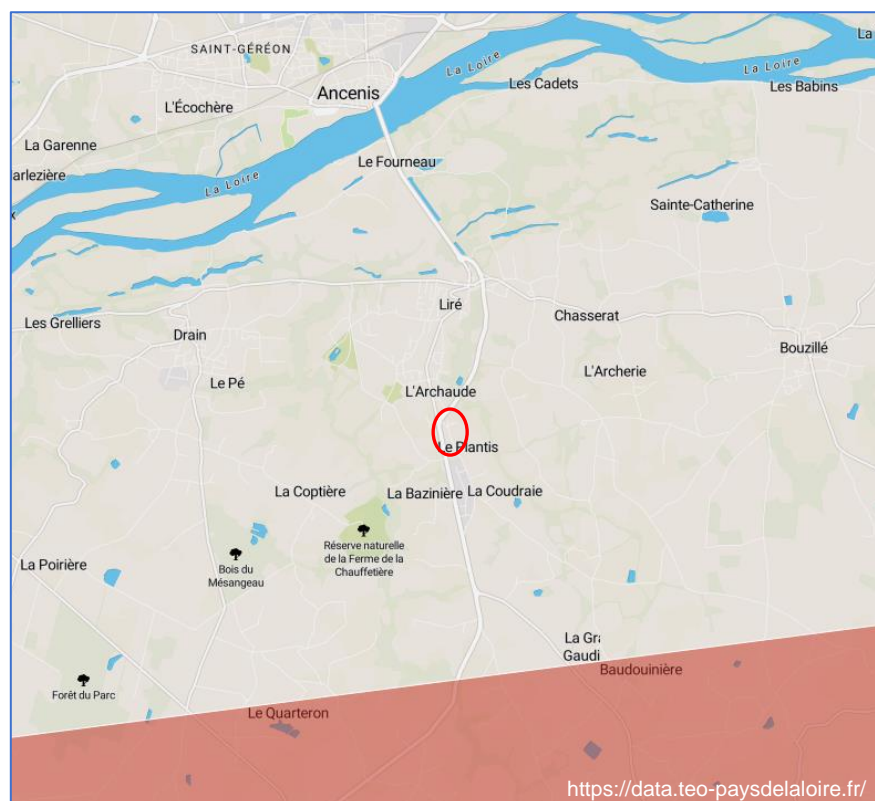


FIGURE 53 : ZONES FAVORABLES AU DEVELOPPEMENT DE L'EOLIEN (ROUGE)

L'implantation d'éoliennes de grandes puissances sur le périmètre de l'étude est donc à proscrire.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Niveau sonore peu perceptible (≈ 40 dB à 200 m). ➤ Energie propre utilisant une ressource gratuite et inépuisable. ➤ Matériaux recyclables (démantèlement facile). ➤ La période de haute productivité, située en hiver où les vents sont les plus forts, correspond à la période de l'année où la demande d'énergie est la plus importante. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fort impact visuel. ➤ Production variable dans le temps et dépendante du climat. ➤ Localisation de l'installation dépendante de la ressource (vent). ➤ Distance minimale des habitations : 500m.

6.9.3. Petit éolien

Les installations d'éoliennes de faibles puissances sont en revanche réalisables à l'échelle du projet puisque leurs nuisances sont relativement faibles.

Il existe aujourd'hui plusieurs technologies de petites éoliennes, également appelées éoliennes domestiques. Elles peuvent être à axe vertical ou horizontal, et implantées sur les toitures, généralement de petite ou moyenne puissance (jusqu'à 6 kW) et spécialement développées pour l'environnement urbain.

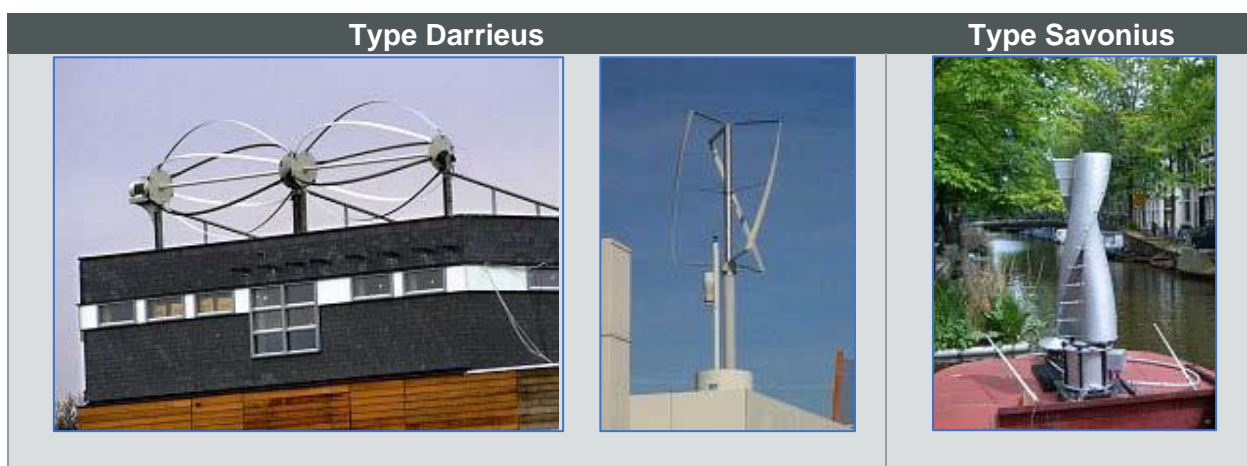
Les différents types d'éoliennes urbaines sont les suivants :

- ▶ **Eolienne à axe horizontal** (similaire aux grandes éoliennes) :
De 5 à 20 m, d'une puissance < 20 kW.



► **Eoliennes à axe vertical :**

Conçues pour s'adapter aux contraintes de turbulences en milieu urbain, fonctionnant avec des vents venants de toutes les directions, et relativement silencieuses. Elles se décomposent en 2 types :



En milieu urbain, le vent est plus faible qu'en terrain ouvert et il est surtout plus turbulent (variations rapides de vitesse et de direction du flux d'air).

Cependant, il est important de noter qu'il s'agit d'une technologie récente dont les retours d'expériences sont quasi inexistantes en France.

L'énergie produite pourra être consommée sur place pour assurer une partie de l'alimentation électrique des bâtiments ou de l'éclairage public, ou alors réinjectée dans le réseau pour une exploitation par le concessionnaire du réseau d'électricité.

L'implantation de petites éoliennes est donc envisageable pour ce projet en veillant cependant à l'intégration visuelle de ces projets.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pas de nuisances sonores. ➤ Matériaux recyclables (démantèlement facile). ➤ La période de haute productivité, située en hiver où les vents sont les plus forts, correspond à la période de l'année où la demande d'énergie est la plus importante. ➤ Production d'électricité : soit injectée sur le réseau, soit consommée sur place. ➤ Intégration au bâti (en toiture, ...). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fort impact visuel. ➤ Petites et moyennes puissances : 100W à 20kW. ➤ Encore chères (moins répandues).

Approche Energétique et Economique

L'investissement avoisine 9 000 €/kW installé et comprend le matériel, la pose, la mise en service et le raccordement au réseau ERDF.

Selon l'arrêté du 10 juillet 2006, et toujours en vigueur aujourd'hui, les tarifs d'achat sont les suivants :

Période	Tarif
Pendant les 10 premières années	8,2 c€/kWh HT
Lors des 5 années suivantes	Entre 2,8 et 8,2 c€/kWh HT (Selon le nombre d'heures de production annuelle)

La relation entre production et investissement afin d'envisager la rentabilité de ce type de technologie pour ce projet est la suivante :

Exemple : Eolienne de 2 kW	
Puissance nominale de l'éolienne	2 kW
Heures de production par an	2 400 h/an
Production par an	4 800 kWh/an
Achat de l'électricité produite en 1 année	395 €
Coût d'une éolienne de 2 kW	18 000 €
Durée d'amortissement	> 30 ans

Même si la faisabilité technique de ce type d'installation semble intéressante pour le projet, la rentabilité économique est actuellement encore difficile à obtenir. De plus, la productivité de ce type d'installation est très variable d'une année sur l'autre.

(Ces données sont formulées uniquement pour donner une approche globale et à titre indicatif. D'autre part, les données économiques ne prennent pas en compte les subventions allouées à ce type d'installation.)

6.10. Le gisement bois énergie net

6.10.1. Ressources locales

Les fournisseurs de bois déchiqueté en 2020 sont représentés sur la carte.

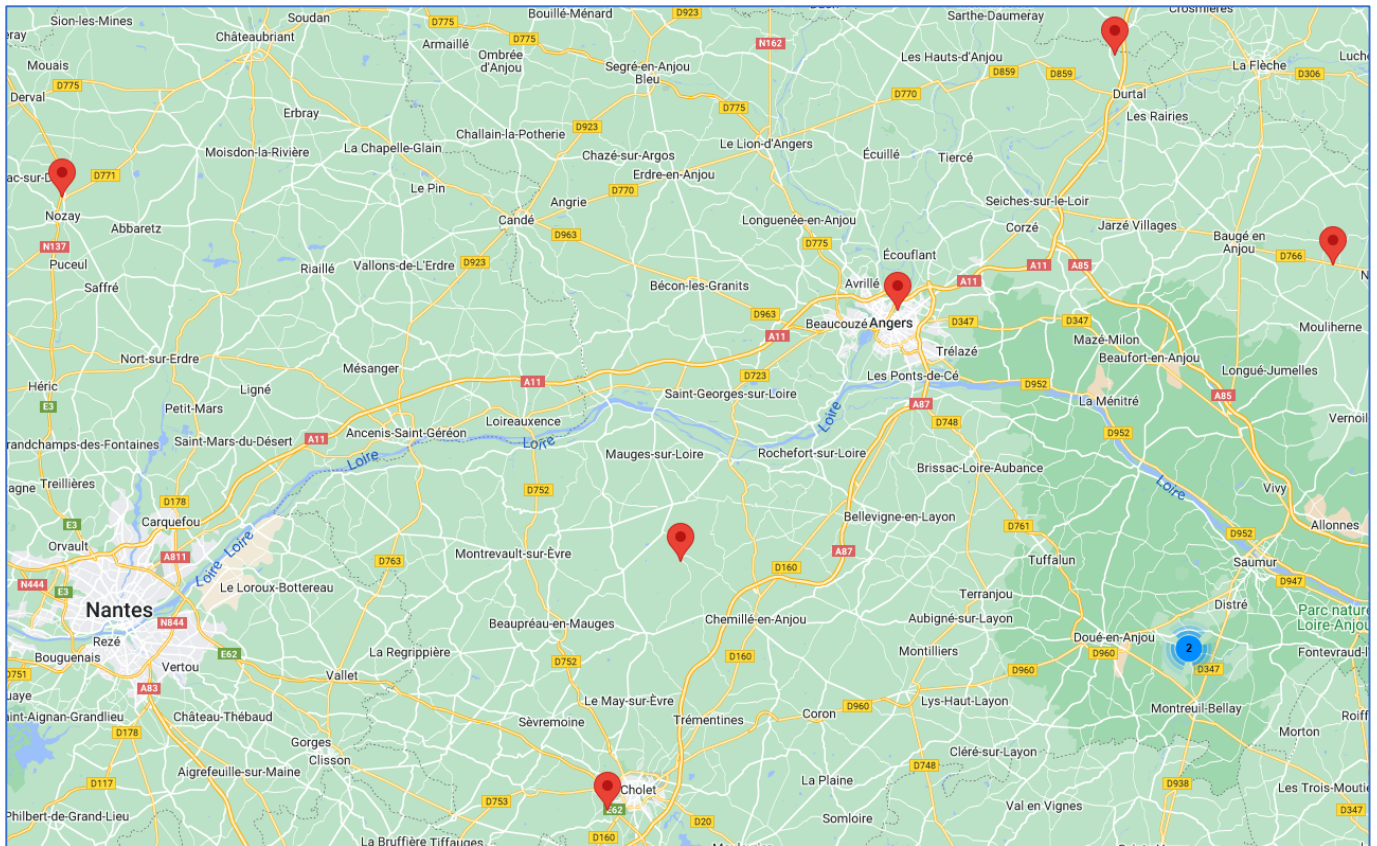


FIGURE 54 : FOURNISSEUR DE BOIS – SOURCE : FIBOIS - PAYS DE LA LOIRE

Sur la carte figure les fournisseurs suivants :

Bema - Bois Energie Maine Atlantique	44170	Nozay
Scic Maine-Et-Loire Bois Energie	49006	Angers Cédex 01
Brangeon Recyclage	49304	Cholet Cédex
Dufeu Sas Veolia	49490	NOYANT VILLAGES
Anjou Bois Énergie	49700	Cizay-la-Madeleine
Loire Compost Environnement	49700	Cizay-la-Madeleine
Scic Mayenne Bois Energie Mbe	53100	Parigné-sur-Braye
Fagus Location Bois Energie Environnement	53350	SAINT MICHEL DE LA ROE
Sarl Valdefis	85170	Le Poiré-sur-Vie

La liste est non exhaustive

On retiendra que le développement d'une filière de proximité, avec plantations de miscanthus ou TTCR (Taillis Très Courte Rotation), et utilisation des bois de taille provenant de l'entretien du bocage peut être envisagé.

L'approvisionnement de ces types de combustibles est possible à proximité, comme le montre la carte ci-contre.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Energie renouvelable (biomasse). ➤ Pollution atmosphérique négligeable. ➤ Energie locale (indépendance énergétique, développement économique des territoires, ...). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Energie non inépuisable. ➤ Peut nécessiter une énergie d'appoint. ➤ Nécessite la livraison régulière du bois -> s'assurer de l'existence d'une filière d'approvisionnement locale. ➤ Nécessité une surface de stockage importante (local chaufferie, silo, aire de manœuvre).

6.10.2. Bois granulés

L'utilisation du bois granulés comme combustible est envisageable pour le projet via la mise en œuvre de chaudières automatiques équipées d'un silo textile ou maçonné (livraison par camion souffleur).

Les réservoirs de stockage (silos bois) devront être situés généralement à 20 m maximum des voiries principales qu'empruntera le camion souffleur.

► Chaudières automatiques

Les chaudières automatiques à granulés de bois peuvent fournir 100 % des besoins de chauffage, la production d'eau chaude sanitaire.

La livraison pourra être assurée par camion souffleur.



Le réservoir de stockage pourra être de type silo textile dans un local réservé à cet effet, ou de type silo maçonné enterré. Ce dernier présentera l'intérêt d'optimiser la surface foncière du projet, mais engendrera des coûts d'investissements plus importants.

L'alimentation de la chaudière à partir du silo pourra s'effectuer par vis ou par aspiration si la configuration de la chaufferie ne permet pas un réservoir de stockage à proximité.

Ces différentes possibilités sont résumées par les schémas suivants :



Aux vues des besoins cette solution n'est pas retenue.

6.10.3. Chaufferie centrale Bois déchiqueté & réseau de chaleur

Aucune chaufferie collective ni réseau de chaleur ne sont présents actuellement près du projet.

L'utilisation de la ressource bois sous forme de bois déchiqueté peut être envisageable pour alimenter une chaufferie centrale commune à l'ensemble des bâtiments. La chaleur produite serait ensuite distribuée via un réseau de chaleur et des sous-stations (une par bâtiment).

L'implantation d'un réseau de chaleur alimenté par une chaufferie mixte Bois-Energie/Gaz peut s'avérer intéressante pour un projet de quartier, sous réserve d'une densité énergétique (donc densité de bâtiments) suffisante.



FIGURE 55 : CHAUFFERIE BOIS

La chaufferie bois est une structure qui s'intègre généralement bien architecturalement dans l'environnement proche si l'on se place dans le contexte d'un projet urbain de ce type. Elle nécessite cependant une attention particulière sur l'aménagement des voiries afin de permettre une desserte optimisée par poids lourds.

Le principe de fonctionnement d'une telle chaufferie est le suivant :

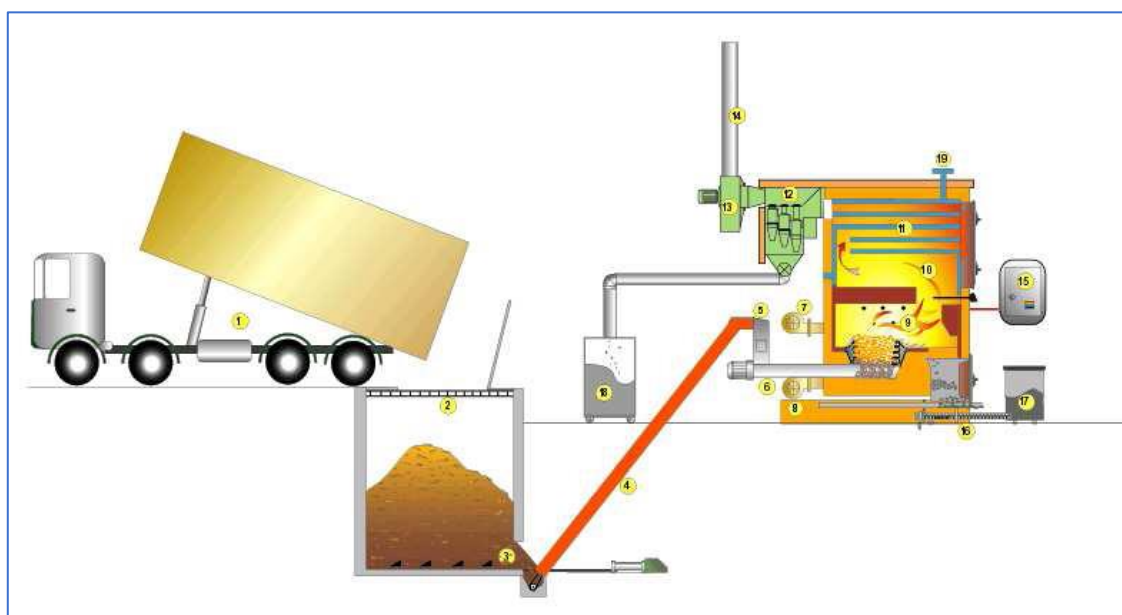


FIGURE 56 : PRINCIPE D'UNE CHAUFFERIE BOIS

- | | |
|---|----------------------------|
| 1- Livraison du combustible | 11- Echangeur |
| 2- Stockage du combustible dans un silo | 12- Traitement des fumées |
| 3- Extraction du combustible du silo (désileur) | 13- Extracteur de fumées |
| 4- Transfert du combustible (vis sans fin) | 14- Cheminée |
| 5- Système coupe-feu | 15- Armoire de commande |
| 6- Système de dosage et d'introduction | 16- Décendrage |
| 7- Ventilateur d'air secondaire | 17- Conteneur à cendres |
| 8- Ventilateur d'air primaire | 18- Conteneur à poussières |
| 9- Chambre de combustion | 19- Départ eau chaude |
| 10- Chambre de post-combustion | |

On présente ci-dessous des photographies de silos enterrés :



FIGURE 57 : SILOS ENTERRES

Le silo est en général dimensionné suivant l'autonomie à pleine charge de la chaudière souhaitée (généralement de 3 à 5 jours).

Pour rappel, la chaufferie devra se situer à proximité de la voirie et permettre une accessibilité aisée pour la livraison de bois. Un espace de manœuvre des poids lourds devra être prévu.

Il est envisagé un dimensionnement mixte, avec les chaudières bois couvrant plus de 80% des besoins thermiques et une chaudière d'appoint couvrant les 20 % restants.

Ceci permet de limiter l'investissement lié à la chaudière bois en mettant en place une chaudière moins puissante (puissance thermique maximale requise ponctuellement lors des températures extérieures les plus basses) et ainsi d'obtenir une meilleure rentabilité économique de l'installation.

La mise en place d'une chaufferie bois déchiqueté, pour l'ensemble des bâtiments du parc d'activité est envisageable techniquement si ces derniers s'avèrent relativement centralisés et non disséminés.

Le Fonds chaleur attribue des aides au réseau de chaleur à hauteur de 60 % du coût des travaux de réseaux et des sous-stations, à condition de respecter un critère de densité thermique minimum de **1,5 MWh utiles/mètre**. Cette règle, légitime dans son principe, est pénalisante dans des zones rurales. Cet indicateur reste très pertinent pour évaluer l'intérêt technico-économique d'un projet bois-énergie mais ne se substitue pas aux résultats d'une analyse plus fine suivant le contexte énergétique (combustibles conventionnels disponibles) et politique (soutien aux développements des énergies renouvelables).

Approche Energétique et Economique

Pour ce scénario, il a été considéré une chaufferie bois collective desservant les 16 lots par le biais de sous-stations.

Les estimations des consommations d'énergie totales des bâtiments comprenant la production de chauffage et/ou ECS par chaudière bois déchiqueté et de la dépense énergétique annuelle dans le cadre de ce scénario sont présentées dans les tableaux ci-après.

Typologie	Type production chauffage et ECS	Consos Gaz (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Consos Bois (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements ** (€ TTC)
Bureaux	Chaufferie bois déchiqueté	13	10	50	5 800	8 800	34 000
Industrie		8	53	31	12 800	13 000	40 000
Artisanat		73	257	291	73 300	76 100	250 000
Chaufferie							860 000
Total	Chaufferie bois déchiqueté	93	321	372	91 900	97 900	1 184 000

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec système de production de chaleur bois :

	Scénario Chauffage Bois	Gain par rapport à la référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	785	-61
Dépense énergétique annuelle (€ HT/an)	97 900	44 300
Emission CO2 (tCO2/an)	51	84
Surinvestissement (€ TTC)	424 000	

6.11. Le gisement hydroélectrique net

Le site n'est pas à proximité de point d'eau qui représente un potentiel hydraulique intéressant :

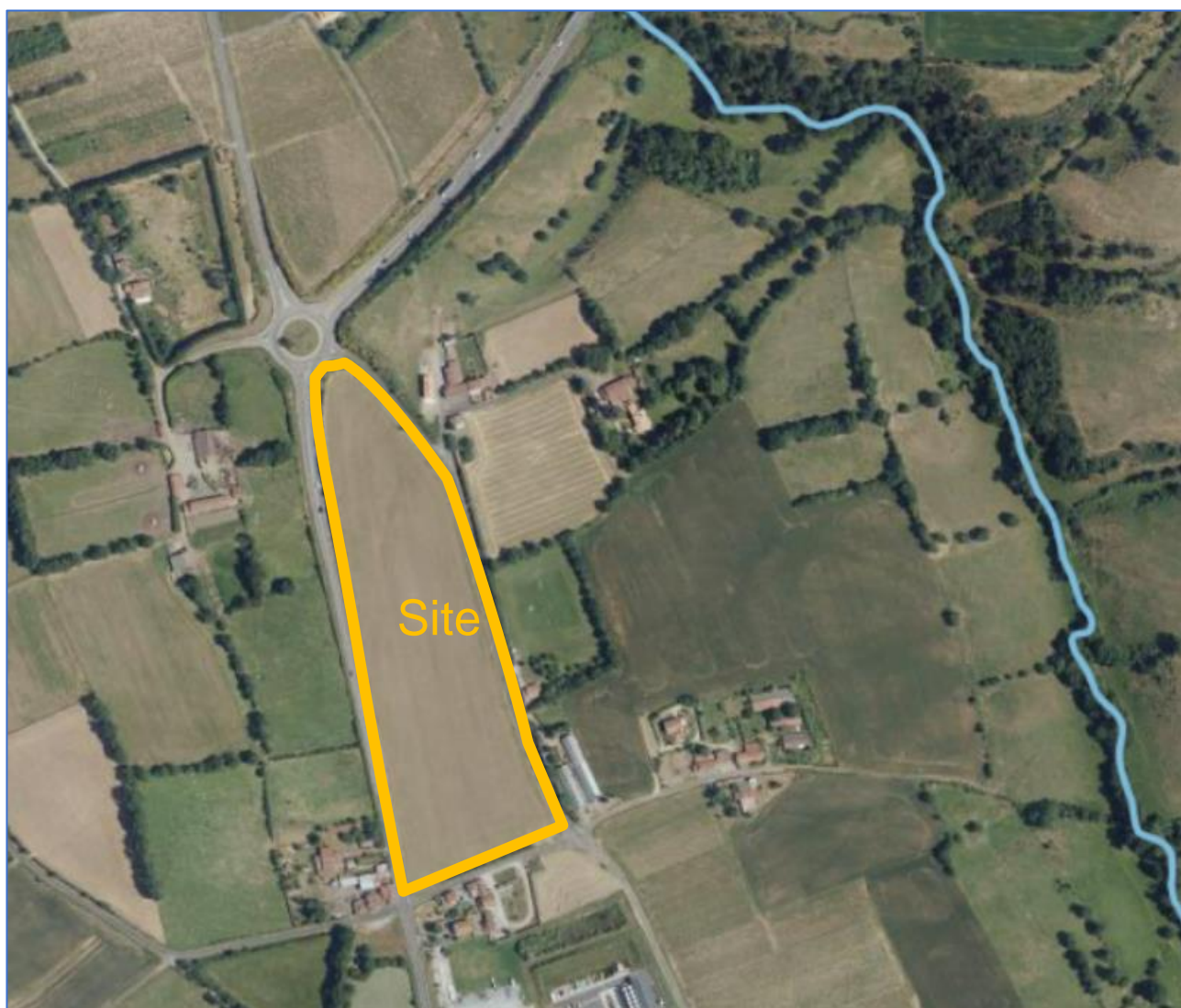


FIGURE 58 : POTENTIEL HYDROELECTRIQUE DANS LA ZONE D'ETUDE

Une production locale d'électricité par des sources hydrauliques n'est donc pas envisageable étant donné le contexte hydraulique.

7. Evolution des coûts énergétiques

7.1. Hypothèse de base

L'ensemble des approches économiques détaillées précédemment ne prennent pas en compte l'évolution du coût de l'énergie, les coûts liés à la maintenance des installations, ni les frais bancaires liés aux emprunts pour réaliser les investissements.

Afin de visualiser l'intérêt économique des différentes solutions, on se propose de synthétiser l'ensemble des données économiques en intégrant ces paramètres.

Les hypothèses d'augmentation du coût de l'énergie prises en compte sont les suivantes :

Poste	Valeur
Gaz naturel	5,0 %
Electricité	5,0 %
Bois	2,0 %

Il a également été considéré une augmentation des coûts liés à la maintenance des installations thermiques de l'ordre de 2% par an.

Il a été considéré un financement des installations sur une durée de 20 ans, avec un taux d'intérêts de 3 %.

7.2. Analyse de l'évolution des coûts sur 30 ans

L'évolution des coûts énergétiques annuels pour l'ensemble de ces scénarios énergétiques est donc la suivante :

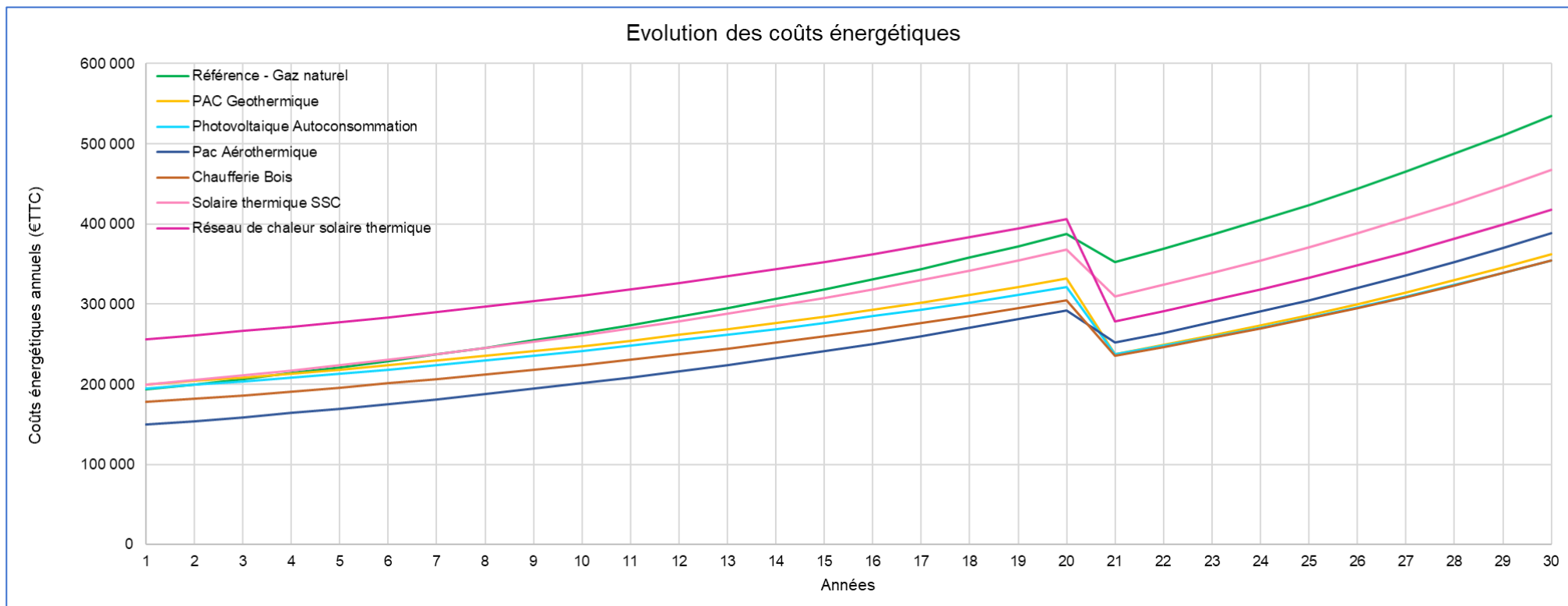


FIGURE 59 : EVOLUTION DES COÛTS ENERGETIQUES

La dépense annuelle liée à l'ensemble des coûts énergétiques (combustible, maintenance et financement de l'installation) est plus faible, pour les premières années d'exploitation, que la situation de référence pour les solutions suivantes :

- ▶ PAC aérothermique
- ▶ Chaufferie Bois

L'ensemble des autres solutions présentent un coût énergétique plus élevé les premières années.

Cette analyse compare uniquement les dépenses annuelles, afin d'évaluer la pertinence économique des différentes solutions, il est nécessaire de comparer l'ensemble des coûts cumulés, année après année, pour chaque scénario énergétique.

L'évolution des coûts énergétiques annuels cumulés pour l'ensemble de ces scénarios énergétiques est donc la suivante :

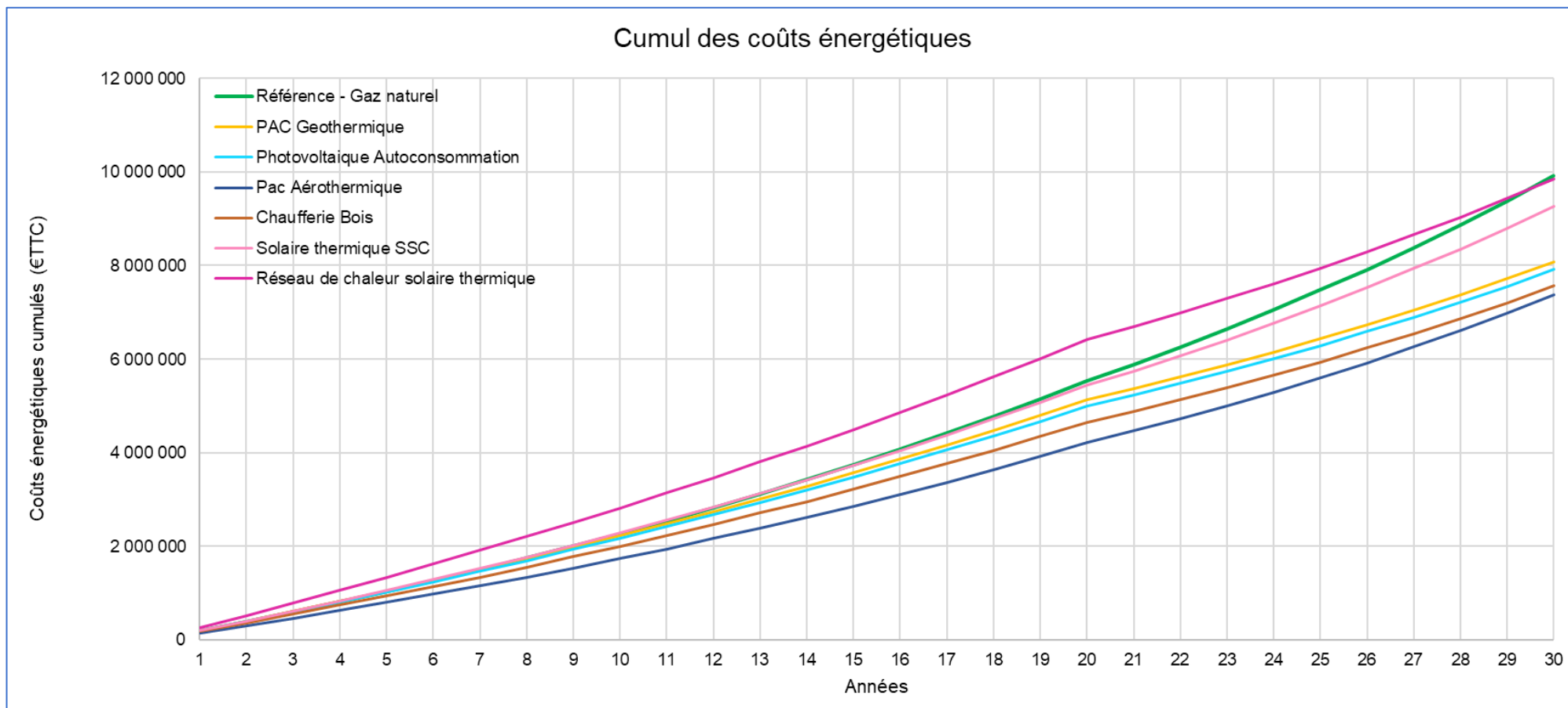


FIGURE 60 : CUMUL DES COUTS ENERGETIQUES

En considérant les écarts de dépenses cumulées entre le scénario de référence et chaque autre scénario, il est possible de visualiser le temps de retour sur investissement de chaque solution par rapport à la référence. Ces temps de retours sont matérialisés par l'intersection de chaque solution avec l'axe des abscisses du graphique ci-dessous qui représente le scénario de référence.

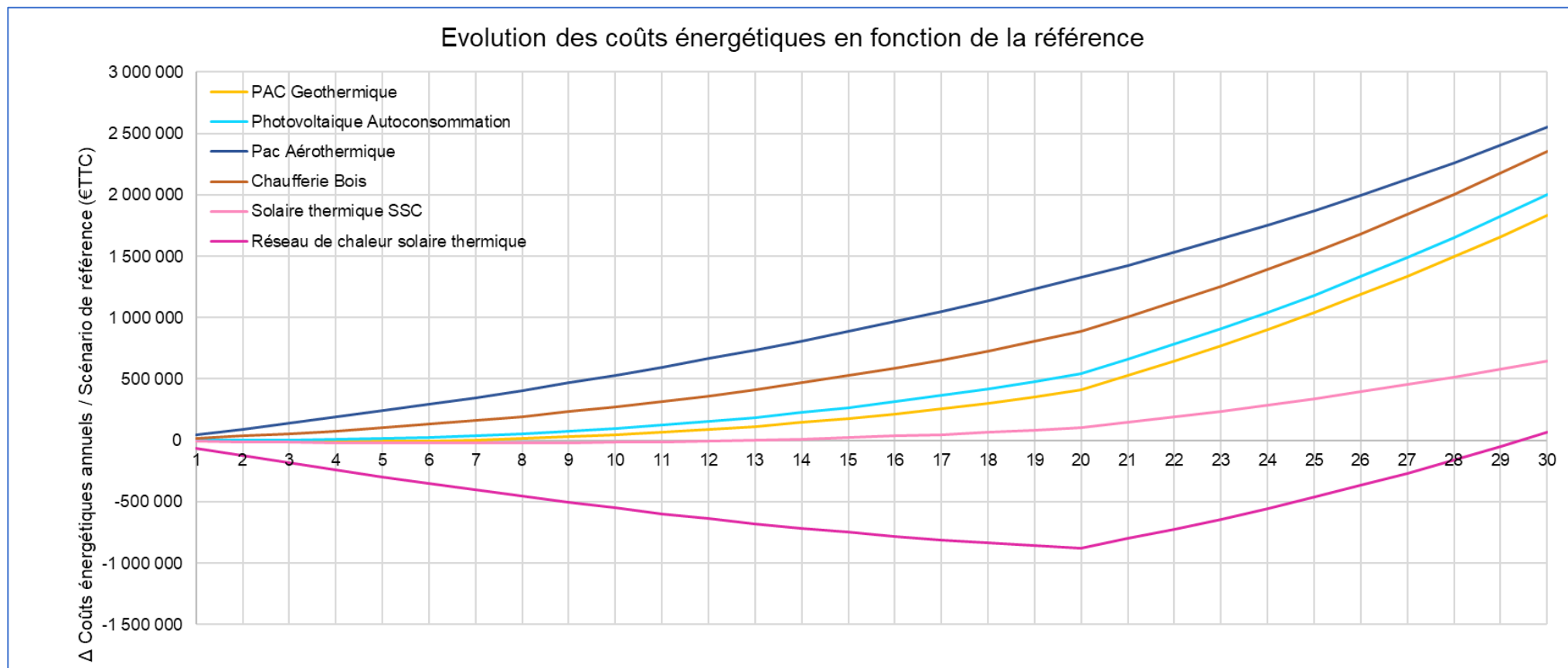


FIGURE 61 : ÉVOLUTION DES COUTS ENERGETIQUES

Le graphique ci-avant donne les temps de retour des solutions ainsi que le gain financier par rapport à la situation de référence sur 30 ans d'exploitation. Quatre scénarios s'avèrent rentables :

Scénario	Temps de retour (année)	Economie / référence à 30 ans
Solaire thermique SSC	13	0,65 M€ TTC
PAC Géothermique	7	1,83 M€ TTC
PAC Aérothermique	Immédiat	2,55 M€ TTC
Chaufferie Bois	Immédiat	2,35 M€ TTC
Photovoltaïque Autoconsommation	3	2,00 M€ TTC
Réseau de chaleur solaire thermique	30	0,07 M€ TTC

8. Emission de CO2 des différentes solutions énergétiques

L'augmentation de la température moyenne de l'atmosphère est induite par l'augmentation de la concentration atmosphérique moyenne de diverses substances d'origine anthropique (CO₂, CH₄, CFC, etc.). L'indicateur retenu pour évaluer l'impact potentiel sur l'effet de serre d'une substance est exprimé en tonnes d'équivalent CO₂.

Chaque solution envisagée dans cette étude va potentiellement engendrer des émissions de CO₂ différentes, en fonction du combustible utilisé, de l'efficacité du matériel, du type d'acheminement de l'énergie, ...

Ces émissions sont les suivantes :

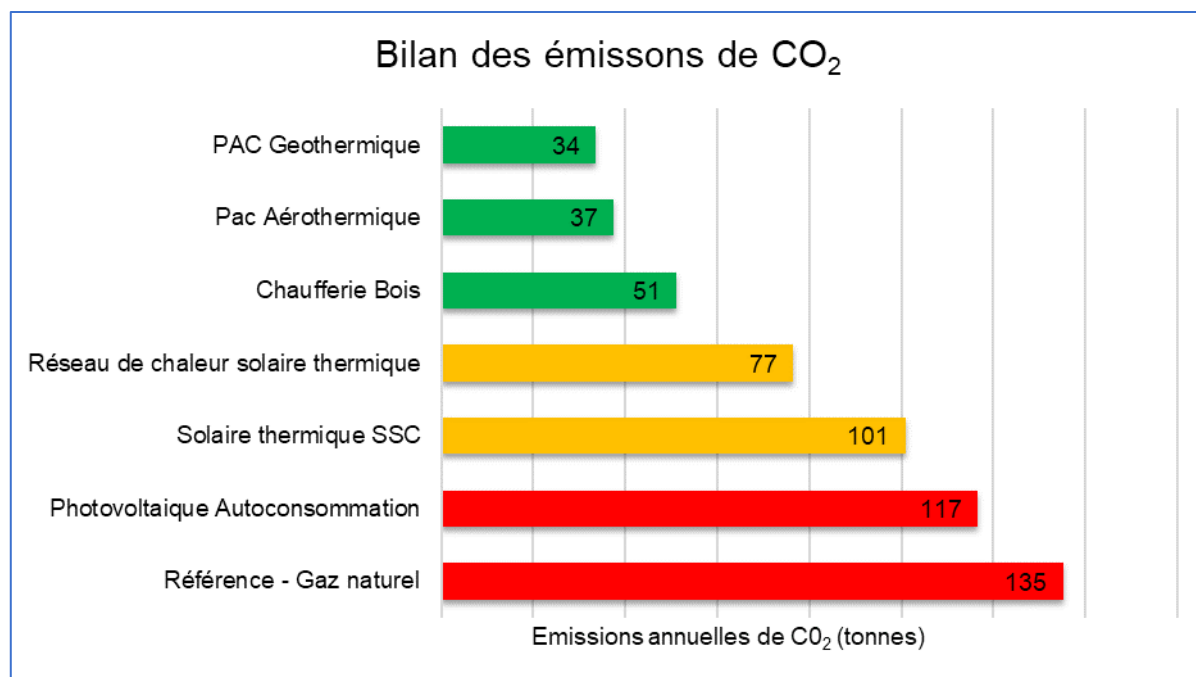


FIGURE 62 : BILAN DES EMISSIONS DE CO₂

Le scénario le plus émetteur de CO₂ est le scénario de référence, en raison du taux d'émission de CO₂ de l'électricité et du gaz naturel pour le chauffage (241 gCO₂/kWh pour le gaz).

Les scénarios prévoyant la mise en place d'une PAC sont les scénarios émettant le moins de CO₂ dans l'atmosphère.

La solution d'une chaufferie bois est également peu émettrices de CO₂.

9. Recommandations sur l'éclairage urbain

9.1. Etat des lieux

Un projet d'aménagement urbain tel que celui-ci, implique des besoins en éclairage urbain non négligeables. En prenant les communes de moins de 2 000 habitants qui regroupent 25 % de la population française, l'ADEME indique que l'éclairage public représente 50% de leur consommation d'énergie. Toujours pour l'ADEME, 40% du parc actuel est composé a été installé il y a plus de 20 ans et donc est composé de matériels technologiquement obsolètes et énergivores. Le potentiel de réduction de la consommation d'énergie se situe entre 50 à 75%.

9.2. Enjeux de l'éclairage urbain

L'éclairage urbain représente l'ensemble des moyens d'éclairage mis en œuvre dans les espaces publics et comprend donc l'éclairage des voiries, des parcs et jardins publics, les parkings, les terrains de sport et les éclairages d'ambiance (façade de bâtiments, monuments, ponts...).

L'éclairage urbain est cependant un service public indispensable à l'échelle d'un projet d'aménagement. Ses enjeux sont les suivants :

- ▶ Assurer la sécurité des déplacements (piétons, cycles, véhicules motorisés, ...),
- ▶ Assurer la sécurité des personnes et des biens,
- ▶ Valoriser les espaces publics,
- ▶ Disposer d'une installation la moins énergivore possible, afin d'abaisser les dépenses énergétiques de la collectivité,
- ▶ Réduire la pollution lumineuse.

9.3. Pollution lumineuse

La pollution lumineuse est une forme de pollution moins connue que certaines autres (déchets, émissions de CO₂, eaux souillées, ...), car à priori moins néfaste sur la santé directement.

Cependant, l'impact de la pollution lumineuse n'est pas sans conséquence sur la faune (modifications des comportements, de l'orientation, augmentation de la mortalité de certaines espèces nocturnes, ...), la flore (perturbations dans le développement – photosynthèse, ...) et peut avoir des conséquences sur la santé humaine (perturbation du sommeil, désynchronisation hormonale, ...). Elle a aussi un impact sur les études astronomique, selon l'Atlas Mondial de la clarté artificielle du ciel nocturne dans les métropoles 90% des étoiles seraient masquées par l'éclairage public.

Au sens strict, tout dispositif d'éclairage artificiel est source de pollution lumineuse. Cependant, il est considéré que la pollution lumineuse est la conséquence de l'utilisation de moyens et de méthodes d'éclairage inadaptés aux besoins réels, par exemple une plage temporelle de fonctionnement de l'éclairage non adaptée, ou encore l'éclairage des zones riveraines d'une surface présentant un besoin d'éclairage alors que celles-ci n'en présentent pas.

Ce dernier exemple est illustré par le schéma ci-dessous :

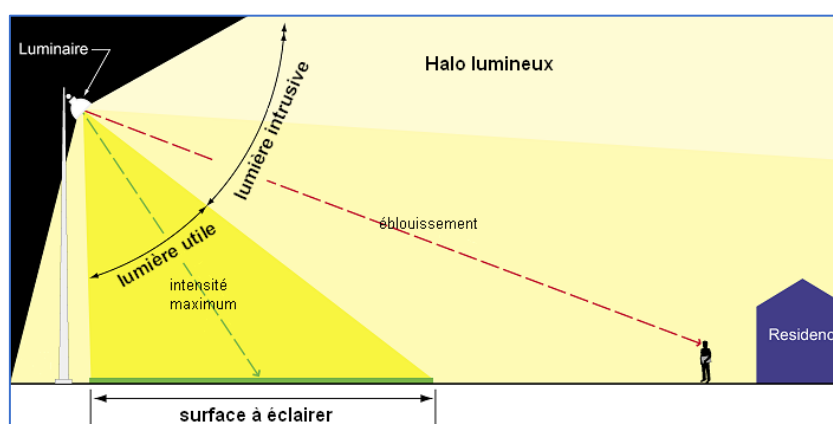


FIGURE 63 : PRINCIPE DE LA POLLUTION LUMINEUSE

L'augmentation de la pollution lumineuse est un phénomène constaté notamment par des vues satellites nocturnes telles que celles-ci-dessous :

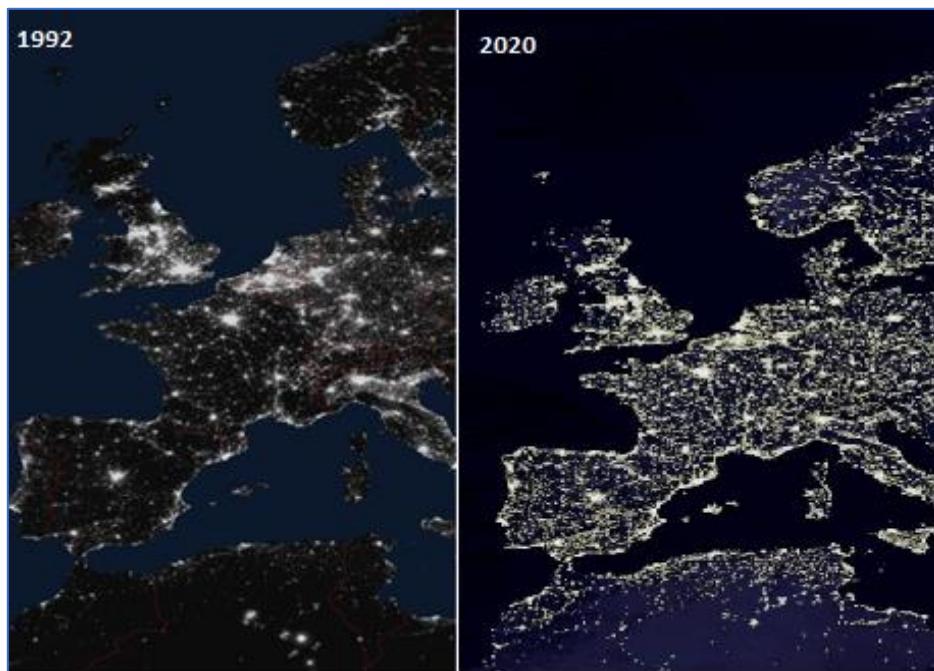


FIGURE 64 : EVOLUTION DE LA POLLUTION LUMINEUSE

L'augmentation des points lumineux en l'espace de 28 ans est indéniable. Ce phénomène est constaté à l'échelle mondiale, mais est plus prononcé dans les pays industrialisés.

La pollution lumineuse, outre son impact sur l'environnement, a un impact économique, puisque par définition, la pollution lumineuse est un éclairage qui ne répond pas à un besoin réel. C'est donc une perte d'énergie qu'il est important de réduire, étant donné le contexte énergétique actuel.

Le principe général de lutte contre cette pollution lumineuse est le suivant :

« Eclairer OÙ et QUAND cela est nécessaire »

9.4. Préconisations

Les pistes d'amélioration pour la conception d'un dispositif d'éclairage urbain sont les suivantes :

- Recourir à des luminaires dont l'orientation se limite tant que possible à la zone à éclairer.

Par exemple, un luminaire de type boule, représenté ci-dessous dans le 3ème schéma, gaspille environ 50% de la lumière produite en l'envoyant dans le ciel, ce qui représente une très grande perte d'énergie inutilisée.



Bon

Mauvais

Très Mauvais

FIGURE 65 : ORIENTATION DES LUMINAIRES

- Utiliser les lampadaires équipés de réflecteurs hauts rendements, dont l'ampoule est encastrée dans le luminaire à verre plat et sans émission au-dessus de l'horizontal, optimisant le flux lumineux et l'orientant vers la cible à éclairer,

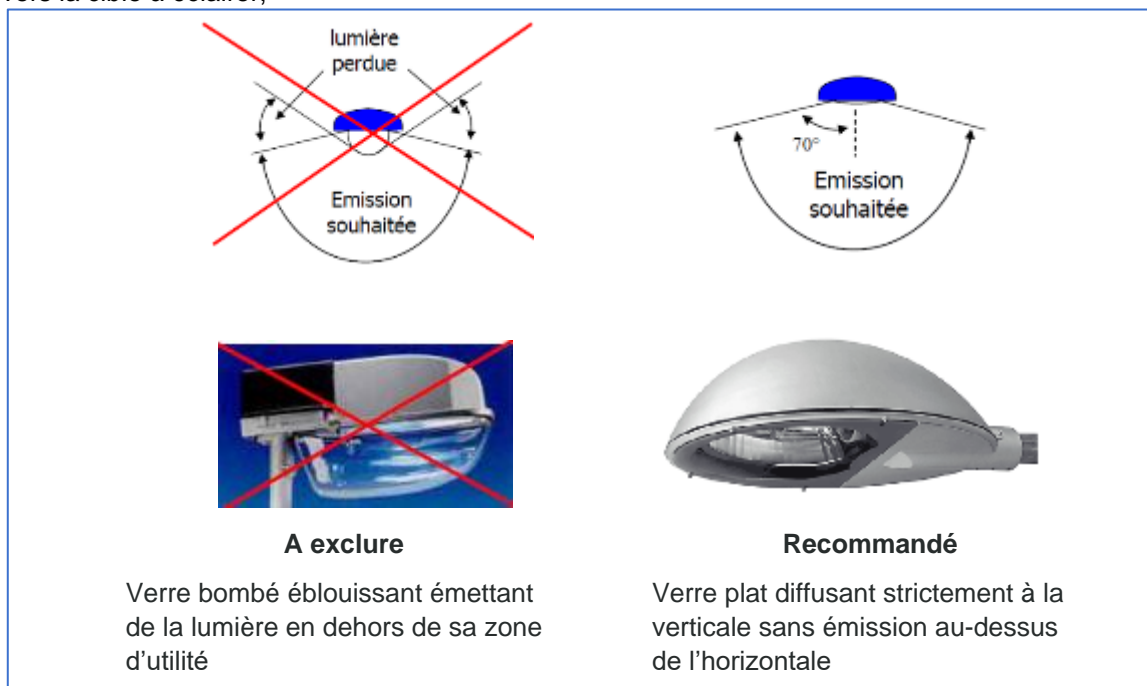


FIGURE 66 : TYPE DE LUMINAIRES

- Affiner le dimensionnement des puissances d'éclairage et la hauteur des mats en fonction de l'utilisation du secteur éclairé (études photométriques),
- Optimiser la gestion temporelle du fonctionnement de l'éclairage,
 - Centralisation des commandes d'éclairage public, et gestion par une horloge astronomique (programmation automatique du fonctionnement selon les heures de lever et de coucher du soleil, les changements d'heures, ...) ou un interrupteur crépusculaire couplé à une horloge (l'interrupteur crépusculaire autorise le fonctionnement uniquement en dessous d'un seuil de luminosité, et l'horloge permet un arrêt nocturne 23h-6h en hiver et 24h-6h en été).
Eteindre l'éclairage la nuit permettrait de réaliser plus de 50% d'économie d'énergie sans frais d'investissement.
 - Si un arrêt complet de nuit n'est pas envisageable, il peut être mis en place un variateur de puissance, qui permet d'abaisser la tension, donc le niveau d'éclairage et les consommations d'électricité selon une programmation horaire. Un variateur de tension permet également d'augmenter la durée de vie des lampes car permet un allumage progressif.
Baisser l'intensité lumineuse la nuit par exemple de 30% permettrait de réaliser environ 30% d'économie d'énergie.

- Recourir au maximum à l'éclairage passif (catadioptrés, marquage au sol lisible ou matières réfléchissantes), par exemple au niveau des giratoires :



FIGURE 67 : ECLAIRAGE PASSIF

- Utiliser des types de lampes économes, efficaces et respectueuses de l'environnement. Les technologies ci-dessous, sont classées selon leur pertinence :
 - Lampes de type LED, présentant une bonne efficacité lumineuse, offrant une possibilité de variation d'intensité instantanée et une excellente durée de vie, cependant leur coût reste élevé.
 - Les lampes à vapeur de sodium Haute Pression, présentant également une très bonne efficacité lumineuse et ayant l'avantage de produire une lumière monochromatique (teinte orangée ou jaune clair moins impactant pour la faune).
 - Les lampes à iodure métalliques présentent une efficacité lumineuse, mais durée de vie plus faible.

A titre d'information, les **lampes à vapeur de mercure**, devant être éliminées comme des déchets spéciaux car toxiques, sont interdites à la commercialisation depuis 2015.

- Coupler l'éclairage avec des systèmes de production d'électricité renouvelable,

L'énergie solaire en alimentation d'un éclairage quand il n'existe pas de ligne électrique à proximité du luminaire peut être une solution intéressante. Cependant, l'investissement élevé de ces équipements, la durée de vie limitée des batteries par rapport au luminaire et le risque de ne plus répondre aux besoins d'éclairage longue durée si l'énergie solaire stockée est trop faible, en font un dispositif qui n'est pas le plus judicieux à mettre en œuvre.



FIGURE 68 : ECLAIRAGE A L'ENERGIE SOLAIRE

10. Les bornes de recharge intégrées au milieu urbain

Mauges Communauté a mis en place son Plan Climat Air-Énergie Territorial (PCAET) en 2017. Dans celui-ci l'action 16 est de « Développer l'offre en motorisation alternatives ». Ce point passe par le développement des véhicules électriques et donc la mise en place de borne de recharge.

10.1. Les voitures électriques en plein essor

Depuis le Grenelle Environnement de 2007, la France a promu le développement des véhicules à faibles émissions une de ses priorités pour la réduction des gaz à effet de serre. C'est pourquoi le nombre de véhicules électriques a fortement augmenté ces dernières années. En 2019, environ 43 000 véhicules électriques particuliers ont été immatriculés, c'est une progression de 38% par rapport à 2018.

Cela s'explique en partie par les nouvelles mesures de l'état sur la question. La France a instauré le 1er janvier 2008 le bonus écologique, une mesure incitant les français à acheter des voitures neuves émettant le moins de CO2 en leur accordant une aide financière.

La France veut continuer dans cette lancée et consolider sa place 3ème place en Europe en termes de nombre de véhicules électriques. C'est pourquoi l'aménagement des territoires en question d'électromobilité est devenu essentielle afin de suivre cette nouvelle dynamique que représentent les voitures électriques et les véhicules propres en général. L'environnement urbain doit donc s'adapter et fournir les infrastructures nécessaires notamment les bornes de recharge des véhicules électriques qui sont indispensables pour pouvoir se déplacer avec ce mode de transport.

10.2. Les bornes de recharge actuellement en France

La France en 2019 comptait près de 95 000 points de recharge dont environ 28 000 ouverts au public. La première région en termes de bornes de recharge est la région parisienne avec plus de 3 000 bornes.

Ces bornes sont sujettes à des normes du parlement européen. Depuis 2014, la France et les autres pays de l'union européenne doivent veiller à ce qu'un nombre approprié de points de recharge ouverts au public soit mis en place, afin que les véhicules électriques puissent circuler au moins dans les agglomérations urbaines et d'autres zones densément peuplées. Dans ces zones, cette mesure impose l'installation d'un point de recharge pour 10 véhicules en circulation. Actuellement la France possède une moyenne d'une borne de recharge pour 7 véhicules électriques en circulation.

La France s'est dans cette démarche fixé comme objectif l'installation, d'ici 2030, d'au moins 7 millions de nouveaux points de charges.

Sur le secteur les bornes de recharges suivantes sont installées :

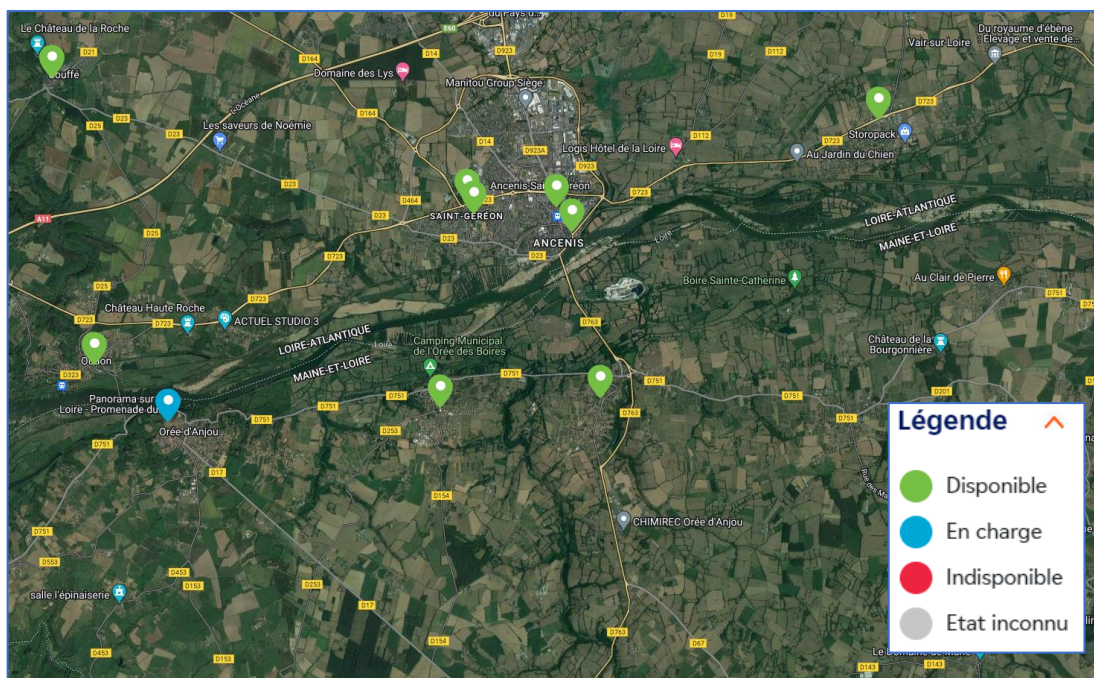


FIGURE 69 : BORNE DE RECHARGE : SOURCE IZIVIA, GROUPE EDF

10.3. Stratégie d'implantation en milieu urbain

10.3.1. Obligations à respecter

Date de dépose du permis de construire	Proportion de places de parkings équipées d'une borne de recharge
Avant le 1 ^{er} janvier 2012	10% dans les aires urbaines de plus de 50 000 habitants 5% sinon
Entre le 1 ^{er} janvier 2012 et le 1 ^{er} janvier 2017	10% toutes zones confondues
Depuis le 1 ^{er} janvier 2017	10% si le parking dispose de moins de 40 places 20% si le parking dispose de plus de 40 places (Sauf pour un ensemble commercial ou un cinéma où les proportions sont de 5% et 10%)

FIGURE 70 : PROPORTION DE PLACES DE PARKING DISPOSANT D'UNE BORNE DE RECHARGE ELECTRIQUE A RESPECTER

10.3.2. Aides favorisant le respect de ces normes

Ces normes sont cependant accompagnées d'aides tel que le programme ADVENIR créé en 2016 qui permet d'aider le financement de l'installation de ces nouvelles bornes à hauteur de 40% afin d'augmenter l'électromobilité en France.

Ce programme a pour objectif l'installation de 13 700 nouveaux points de recharge.



Les bâtiments potentiellement éligibles au programme ADVENIR sont :

- ▶ Les habitats collectifs à usage individuel ou collectif
- ▶ Les parkings des entreprises publiques
- ▶ Les espaces privés qui mettent à disposition des points de recharge ouverts au public (bâtiments commerciaux, services publics, groupe hôteliers...)
- ▶ Les espaces publics mettant à disposition des points de recharge ouverts au public

Les renouvellements de bornes déjà existantes ou l'installation de points de recharge en maison individuelle ne sont cependant pas concernés par ce programme.

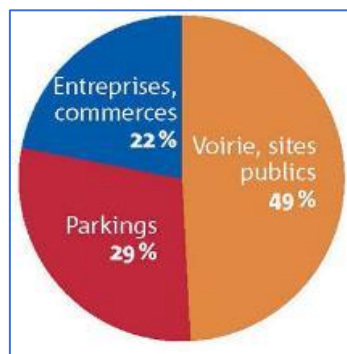
10.3.3. Localisation des bornes en ville

Depuis 2010 ce sont les communes qui sont en charge de la création, de l'entretien et l'exploitation des infrastructures de recharge des véhicules électriques. C'est à elles de choisir une bonne stratégie d'implantation de ces bornes afin que l'usage des voitures électriques soit plus simple et se répande.

La localisation de ces bornes de recharge est essentielle et émane d'une réflexion différente de l'implantation de stations essence puisque recharger une voiture électrique nécessite plus de temps que seulement faire son plein.

Les bornes de recharge seront situées non pas à des endroits de passage mais plutôt à des endroits où l'on s'arrête plus longtemps comme les centres commerciaux, les parkings, au travail, au parc, etc.

Dans le diagramme ci-dessous est représentée la répartition des bornes de recharge dans les différents types de lieux.



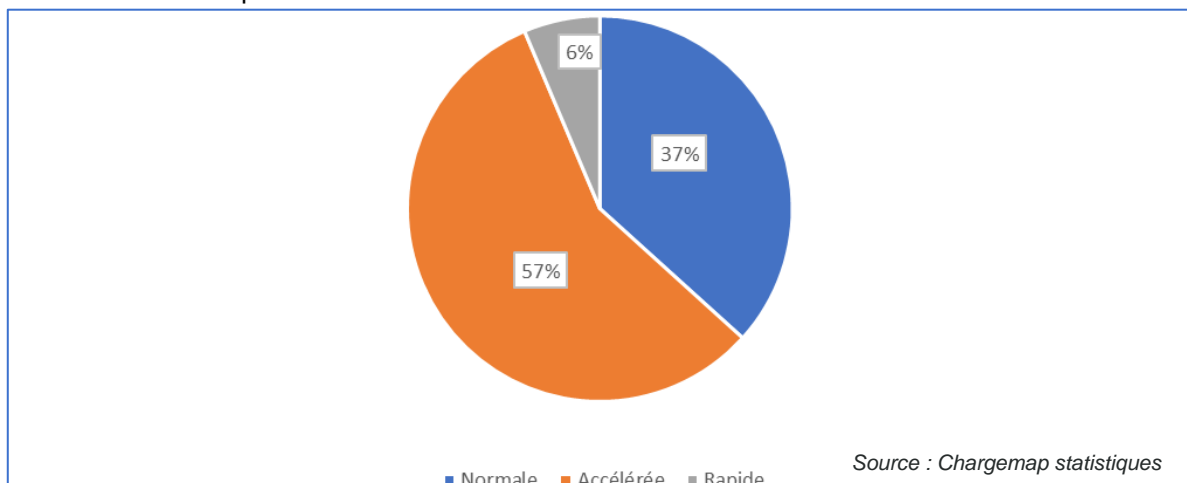
Source : Avere-France, Gireve

FIGURE 71 : REPARTITION DES LIEUX D'IMPLANTATION DE BORNES DE RECHARGE

Il est maintenant nécessaire d'adapter le type de borne de charge à la localisation de celle-ci.

Il existe en effet 3 types de charge des voitures électriques :

- ▶ La charge normale : courant alternatif monophasé de 16A (3,7 kW). Il faut compter environ 8 heures pour la recharge du véhicule électrique.
- ▶ La charge accélérée : courant alternatif monophasé de 32A (7kW) ou triphasé jusqu'à 32A (22kW). Il faut compter entre 1h et 4h pour la recharge du véhicule électrique.
- ▶ La charge rapide : courant alternatif triphasé de 63A (43 kW). Il faut compter à peine 30min pour la recharge du véhicule électrique.



Source : Chargemap statistiques

FIGURE 72 : REPARTITION DES TYPES DE RECHARGE IMPLANTEE EN FRANCE

Les bornes de recharge normale suffisent pour répondre aux besoins quotidiens de la plupart des français qui en moyenne parcourent 30km.

Cependant pour les longs trajets tels que les départs en vacances, la recharge rapide est essentielle pour charger la voiture rapidement lors d'une pause. Ainsi ce deuxième type de borne a tout son intérêt près des grands axes de circulation comme par exemple sur les aires de repos des autoroutes.

Enfin en ville ou dans les centres commerciaux, les bornes les plus adaptées sont celles à recharge accélérée. En effet ce sont des endroits de passage mais où l'on y reste tout de même au minimum une heure. De plus l'usage trop répétée de recharge rapide peut avoir un impact négatif sur la durée de vie des batteries des véhicules électriques. Cette dernière catégorie de borne semble être le bon compromis sur les parkings des centres commerciaux.

Ci-dessus un tableau résumant la localisation des bornes de recharge associées chacune à un type de borne.

Localisation	Type de borne
Zone de passage (autoroute, voirie rapide...)	Rapide
Zones d'intermodalité et centres commerciaux	Accélérée, voire normale
Zones résidentielles et zones d'activités	Normale, voire accélérée

FIGURE 73 : TABLEAU DES DIFFERENTS TYPES DE LIEUX ASSOCIES A LEUR TYPE DE BORNE IDEALE

11. L'accès au transport en commun

Dans le Plan Climat Air-Énergie Territorial, l'action 13 est de « Transformer la voiture individuelle en transports collectifs » et la 15 est de « Développer l'offre en transport public et l'intermodalité ». Il est donc important de réfléchir au moyen d'intégrer la ZA des Courronnières² dans cette réflexion.

11.1. Choix des modes de transport

11.1.1. Quelques chiffres sur les déplacements des français

En moyenne, les Français réalisent 3,15 déplacements individuels par jour. Pour ces déplacements ils ont le choix entre plusieurs modes de transport, que ce soit la voiture, les transports en commun, la marche, le vélo...

La France en 2018 a promulgué la Loi d'orientation des mobilités (LOM) qui entend bien promouvoir les transports en commun. La priorité du gouvernement est l'investissement dans l'entretien et la régénération des réseaux ferroviaires, routiers et fluviaux.

L'utilisation de la voiture comme mode de transport reste cependant dans beaucoup de cas privilégié comme pour se rendre au travail, aller faire ses courses, aller faire du sport...

Le choix du mode de transport dépend notamment de la distance à parcourir.

Pour des trajets de moins d'un kilomètre et demi :

- ▶ 67% se déplacent à pied
- ▶ 27% en voiture
- ▶ L'utilisation des transports en commun pour cette distance est négligeable

Pour des trajets supérieurs à 1,5 km :

- ▶ Très peu se déplacent à pied
- ▶ 60% en voiture
- ▶ 34% en transport en commun

La part des trajets en transport en commun augmente avec la distance. Une tendance s'installe cependant ces dernières années la part des transports en commun diminue alors que celle de la voiture augmente.

Ci-dessous, les transports en commun privilégiés des français sont présentés :

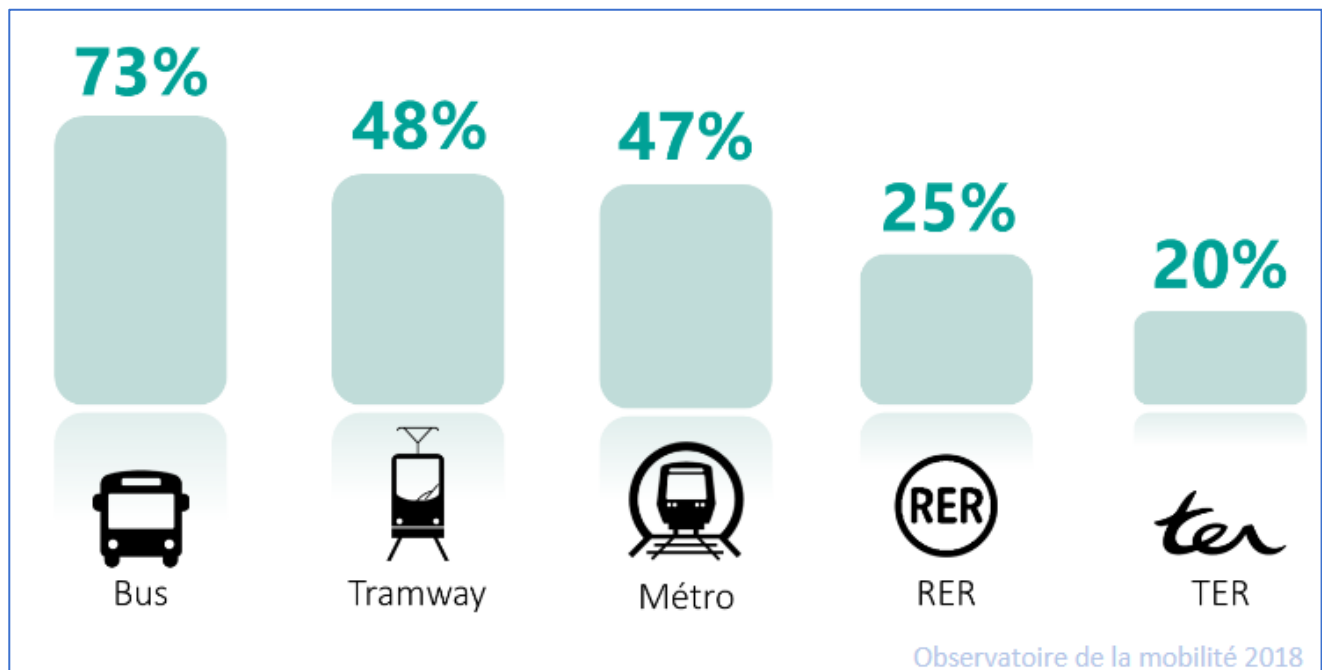


FIGURE 74 : MODES DE TRANSPORT UTILISES PAR LES USAGERS DES TRANSPORTS EN COMMUN

11.1.2. Possibilité d'amélioration en termes d'accessibilité des transports en commun

Malgré la forte dominance de l'utilisation de la voiture par les Français, les transports en commun sont un mode de transport déjà fortement utilisés en France et qui représente un gros potentiel sachant que 19% des ménages français ne possèdent pas de voiture et sont obligés de se déplacer par la mobilité douce ou en transport en commun.

Le manque d'accessibilité des transports en commun est cependant un problème majeur et représente un frein à leur utilisation que ce soit au niveau de la localisation des arrêts, les heures et la fréquence de passage, la durée des trajets, il y'a donc une amélioration importante à faire sur ces points-là, il faut alors adopter une stratégie en termes d'organisation et d'implantation de ces réseaux de transport.

11.2. Différents facteurs à prendre en compte pour faciliter l'accès et l'utilisation des transports en commun

11.2.1. Adapter les horaires et la fréquence

Il est important d'introduire des transports en commun qui satisfont le plus grand nombre, pour 35% des usagers les fréquences de passage trop faibles et les horaires inadaptés.

11.2.1.1. Identifier les besoins

La plupart des déplacements sont réalisés dans des créneaux horaires bien précis. Entre 7h et 9h30 et entre 16h et 20h les français se déplacent le plus avec des pics de 30 min entre 8h et 8h30 puis entre 18h et 18h30. Ainsi sur les réseaux de transport se rassemble un très grand nombre de personne, il faut donc adapter leur besoin au niveau des horaires et de la fréquence des transports mis à disposition pendant ces horaires là avec des passages beaucoup plus réguliers que pendant les heures creuses.

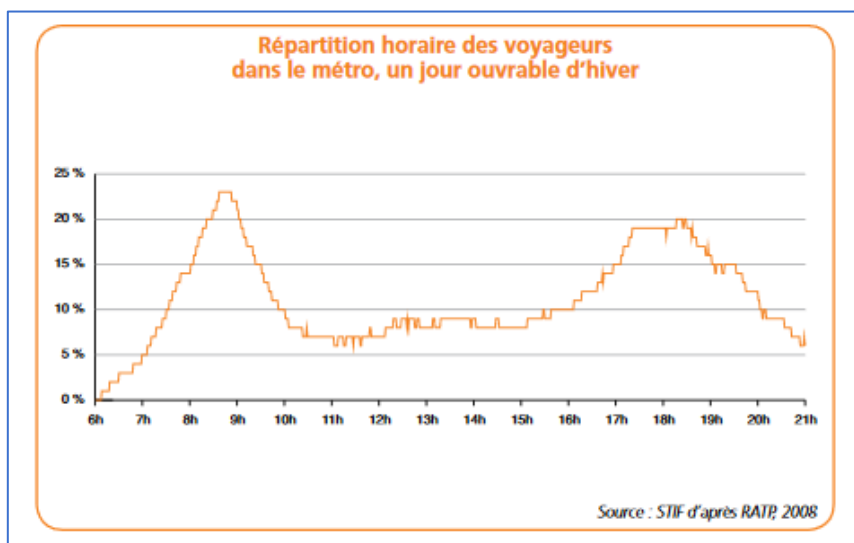



FIGURE 75 : HORAIRES DE FREQUENTATION DU METRO A PARIS EN SEMAINE

11.2.1.2. Différence week-end/semaine

La fréquentation des transports en commun augmente aussi le week-end comme le montre le tableau ci-dessous.

Entrants directs journaliers dans les stations de métro, par type de jour, en milliers										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
 Jour ouvrable	3 927	4 007	4 111	4 087	4 176	4 355	4 440	4 521	4 666	4 616
Samedi	2 700	2 726	2 759	2 868	2 963	3 007	3 130	3 372	3 403	3 373
Dimanche	1 671	1 645	1 832	1 846	1 908	1 968	2 045	2 142	2 073	2 066

Remarques : les voyageurs en correspondance sur le métro ou en provenance du réseau RER RATP ne sont pas comptabilisés. Ceux en provenance du réseau SNCF sont comptabilisés.
Source : STIF d'après RATP

FIGURE 76 : COMPARAISON DE LA FREQUENTATION DU METRO DE PARIS EN SEMAINE ET LE WEEK-END

Les demandes ne sont cependant pas les mêmes que les jours de semaine. La plupart des déplacements en semaine se font le matin et le soir pour aller et rentrer du travail alors que les déplacements du week-end sont consacrés aux loisirs. Les horaires de fréquentation ne sont donc pas les mêmes, les pics d'utilisation du réseau seront souvent à partir de 11h jusqu'à 21h en continu avec des maximums dans le milieu de l'après-midi. Il est donc important de s'adapter à ces fréquentations et de mettre en place des transports en commun le week-end aussi à des heures stratégiques (commencer à 6h n'est pas stratégique).

11.2.1.3. Vacances scolaires notamment l'été

Pendant les vacances scolaires, la densité du trafic devra être réfléchi en fonction de l'environnement autour du réseau urbain.

- ▶ Beaucoup de trajets le matin sont en direction des écoles qui ne seront pas fréquentées pendant ces périodes. Il pourrait être intéressant de repenser certaines lignes de bus ou certains horaires seulement pendant les 2 mois de vacances d'été pour éviter d'avoir des transports à moitié vide.
- ▶ S'il y a présence de lieux touristiques importants (musées, monuments, grottes...) il sera nécessaire de les desservir plus fréquemment pendant les vacances scolaires où le tourisme est plus dense.
- ▶ Dans le cas contraire où la région ne dispose pas de sites touristiques majeurs, un réseau de transport très dense en pleine journée est moins stratégique.
- ▶ Les gares et aéroports permettant de réaliser des plus grandes distances devront aussi être bien desservis pour les départs et arrivées de vacances.

11.2.2. Faire des choix stratégiques de lignes

40% des français n'utilise pas les transports en commun en raison de l'absence de lignes leur permettant de rejoindre certaines destinations

11.2.2.1. Positionnement des arrêts : identifier les besoins

Pour 24% des français une des raisons de la non-utilisation des transports en commun est l'absence d'arrêts de transport à proximité de chez eux. Ainsi leur localisation doit être stratégique afin qu'elle s'adapte au plus grand nombre.

Ci-dessous est présentée une liste des principaux endroits importants à desservir par les transports en commun.

- ▶ Les zones industriels ZI et zones d'activités ZA
- ▶ Les écoles (lycées, collèges, universités, écoles primaires et maternelles) et crèches
- ▶ Quartiers d'habitations
- ▶ Centre commerciaux
- ▶ Supermarché
- ▶ Complexe sportif et piscine
- ▶ Hôpitaux
- ▶ Centre bourg : dans la plupart des communes, les services se situent dans le centre bourg tel que la pharmacie, la boulangerie, la mairie, salle des fêtes...
- ▶ Lieux touristiques, église

La plupart des trajets se font en direction de ces lieux, ainsi faciliter leur accès en transport en commun est un objectif pour limiter l'utilisation de la voiture. Le positionnement des arrêts de bus, de métro ou de tramway est choisi en fonction de l'environnement autour.

Dans le même temps, il est nécessaire de limiter le nombre de zone non desservis comme les plus petites communes situées en marge du réseau urbain, qui représente un nombre d'habitants non négligeable obligés de prendre leur voiture pour effectuer chacun de leurs déplacements. Une ligne de bus passant par ces communes et rejoignant d'autres villes plus grandes possédant des points d'intermodalité est un bon moyen de faciliter leurs déplacements en transport en commun.

11.2.2.2. Positionnement des terminus

De même les terminus de lignes nécessitent des aménagements plus importants que les arrêts normaux donc ils doivent être situés dans un environnement stable au sens où ils ne dépendent pas d'une seule infrastructure attractive qui pourrait être amené à être déplacée.

Ils doivent être capables d'accueillir à proximité des espaces de parking pour voitures, vélos, trottinettes...

L'ensemble du réseau ne pourra pas desservir tout le monde, plusieurs personnes seront dans l'obligation d'utiliser tout de même leur voiture pour venir jusqu'au terminus s'ils habitent dans des endroits plus isolés mais mettre à disposition des parkings leur permettra de réduire leur impact écologique puisqu'une partie du trajet se fera tout de même en transport en commun.

11.2.2.3. Prendre en compte les habitations aux alentours au niveau de la qualité de vie (bruit/pollution)

Il est nécessaire de prendre en compte les lieux d'habitation lors de la conception des lignes de transport afin de ne pas occasionner de trop grands gênes en termes de bruit et de pollution dus au trafic permanent de bus.

11.2.3. Des moyens simples pour adapter au mieux le réseau de transport en commun

11.2.3.1. Consulter les habitants

Il est important de consulter les habitants (par exemple à l'aide de sondages) pour identifier leurs besoins et adapter le réseau en fonction.

11.2.3.2. Mise en place de tests

Après avoir consulté les habitants et défini leurs exigences, il est intéressant de réaliser des tests en mettant en place des nouvelles lignes de bus ou de modifier quelques arrêts sur les lignes déjà existantes de 1 mois à 3 mois. Avec ces tests, les habitants pourront se rendre compte si les aménagements sont mieux afin que ces modifications restent permanentes ou non.

11.3. Ligne Local

Au niveau local, les transports sont gérés par la région Pays de la Loire et son service l'Aléop. Ces lignes dans le secteur de l'étude sont recensées ci-dessous.

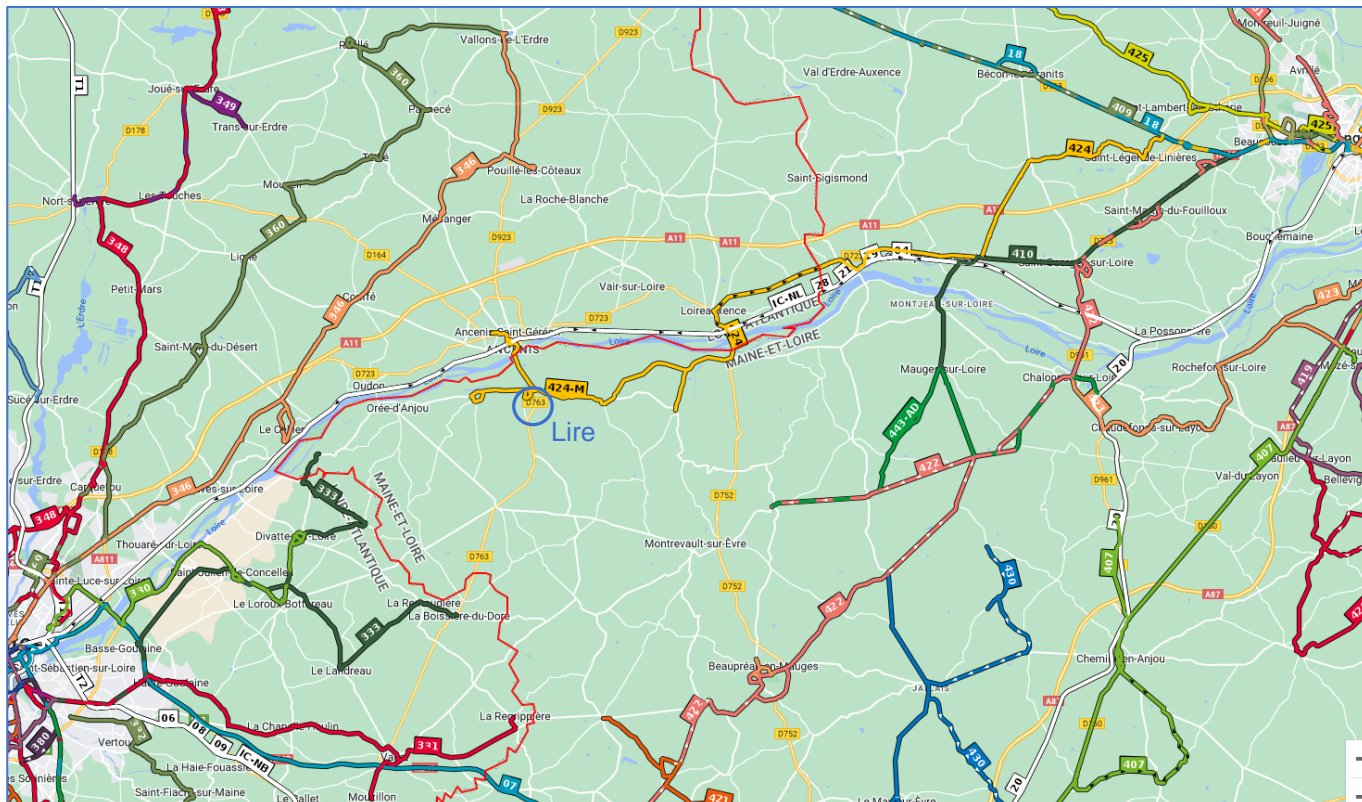


FIGURE 77 : LIGNES REGULIERES - SOURCE : ALEOP

12. La mobilité douce

La mobilité douce regroupe l'ensemble des déplacements non-motorisés tels que la marche à pied, le vélo, le roller, le gyropode, la trottinette... Dans son Plan Climat Air-Énergie Territorial, l'action 13, prévoit de « Faire du vélo et des modes doux une alternative crédible aux déplacements motorisés ». Ci-dessous certaines pistes de réflexion pour mettre en avant cette mobilité douce sur la zone sont formulées.

12.1. Etat actuel

12.1.1. Adapté sur petites distances

Selon l'ADEME, un quart des déplacements en France sont inférieurs à 1km. Ce type de mobilité est surtout adapté sur des faibles distances entre 1km et 5 km en moyenne et s'adapte donc totalement aux déplacements en ville. Dans les villes moyennes, les français sont plus d'un quart à marcher ou à pédaler tous les jours.

12.1.2. Avantages/Inconvénients

Ci-dessous sont présentés les avantages et inconvénients de ce type de mobilité.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">▶ Moins polluant▶ Plus rapide en ville (vitesse moyenne d'un cycliste 15km/h, d'une voiture 14km/h)▶ Accès à des rues interdites en voiture▶ Facilité de stationnement (si besoin)	<ul style="list-style-type: none">▶ La météo▶ Le stationnement des véhicules légers sur le trottoir▶ Le danger sur la route (près de 200 cyclistes sont tués chaque année)

12.2. Les infrastructures mises en place

12.2.1. Un réseau important

Un réseau cyclable est un tissu d'aménagements permettant de réaliser des déplacements à vélo mais aussi avec tout autre moyen de transport pouvant circuler sur les pistes cyclables. Il prend en compte 4 facteurs :

- ▶ La longueur
- ▶ La continuité
- ▶ Le maillage (un bon maillage permet d'atteindre tous les points par l'intermédiaire des aménagements cyclables)
- ▶ L'entretien

Ces quatre qualités doivent être optimisées pour que le transport en vélo, trottinettes, gyropode etc. soit facilité, plus accessible et moins dangereux.

12.2.2. Le stationnement

12.2.2.1. Parcs à vélo

Il existe des parkings à vélo près des gares, des aéroports ou près de stations de métro qui permettent aux habitants de stationner facilement leurs vélos lorsqu'ils voyagent ou se déplacent en ville afin de les encourager à ne pas utiliser leur voiture.



FIGURE 78 : ESPACES VELIGO EN ILE DE FRANCE PERMETTANT LE STATIONNEMENT SECURISE DES VELOS

12.2.2.2. Station de vélo en libre-service

Les vélos en libre-service permettent aux utilisateurs de prendre un vélo dans l'une des stations et de le déposer ensuite dans une station près de notre lieu d'arrivée.



FIGURE 79 : STATION DE VELO A SOPHIA ANTIPOLIS

Inconvénients s'il n'y a pas de station de vélo près du lieu de départ ou d'arrivée.

12.2.2.3. Vélo en libre-service sans station

Un nouveau service est arrivé ces dernières années, le vélo sans station. Une application permet de savoir si un vélo a été déposé à proximité, l'utilisateur peut ensuite le prendre en le déverrouillant sur l'application puis lorsque son trajet est terminé, on peut déposer le vélo n'importe où et le verrouiller pour que le paiement s'arrête. Ce service est aussi disponible dans certaines villes avec les trottinettes.



FIGURE 80 : VELOS EN LIBRE-SERVICE DANS PARIS

Ce service permet d'aller où on veut indépendamment des stations mais il peut cependant poser des problèmes puisque les usagers peuvent déposer leur véhicule n'importe où sur les trottoirs ce qui peut occasionner des gênes pour les piétons si le ramassage des véhicules n'est pas assez rapide.

12.2.3. Le rechargement pour les véhicules électriques (hors voitures)

Comme tous appareils électriques, les vélos électriques doivent être mis à charger, il faut donc prévoir des endroits de rechargement.

Pour le moment ces bornes ne sont que très peu développées en France comparé à nos voisins suisses ou allemands. Elles sont cependant nécessaires surtout pour des trajets en vélo électrique plus long.

Il y a actuellement plusieurs solutions :

- Installation de bornes universelles qui nécessite à l'utilisateur de prévoir son câble de recharge pour adapter son type de batterie à la borne. Le câble pèse 1kg, ce n'est pas très pratique pour le cycliste



FIGURE 81 : EXEMPLE D'UNE BORNE DE RECHARGE POUR VELO A ASSISTANCE ELECTRIQUE (MARQUE VAE ALTAO)

- Installation de bornes spéciales pour chaque marque de batterie qui ne s'adapte donc qu'à un seul type de vélo. Bosch notamment à commencer à implanter plusieurs bornes de recharge pour ses batteries dans l'est de la France et dans la région Provence.



FIGURE 82 : EXEMPLE D'UNE BORNE DE RECHARGE BOSCH INSTALLEES DANS UN LIEU TOURISTIQUE

- Adaptation des bornes de recharge électrique dédiées aux voitures électriques afin qu'elles puissent permettre la recharge des batteries de vélos électriques. Les prises pour recharger les vélos sont des prises basiques 220V.

12.3. Apparition de nouveaux modes de transports

Depuis quelques années de nouveaux modes de transports doux sont sortis sur le marché et ont envahi les centres villes : gyropodes, trottinettes, gyroroues, hoverboard.



FIGURE 83 : NOUVEAUX MODES DE TRANSPORT EN VILLE

Ces nouveaux modes de transport nécessitent aussi des aménagements, dans la plupart des cas ils peuvent circuler sur les bandes et pistes cyclables mais lorsqu'elles ne sont pas présentes un problème se pose. Ces moyens de transport sont trop rapides pour circuler sur le trottoir mais leur circulation sur la chaussée reste dangereuse.

De plus, des services comme pour le vélo sont proposés pour ces moyens de transport notamment pour la trottinette. Il existe des entreprises de déploiement de trottinettes en libre-service comme à Paris. Cependant les infrastructures nécessaires à leur fonctionnement ne sont pas encore développées (ex : rechargement).

13. Synthèse

Le tableau ci-dessous présente la synthèse sur le potentiel de développement en énergies renouvelables et les solutions énergétiques envisageables pour le projet :

	Bureaux	Industrie	Observations
Solaire thermique (Réseau de chaleur)	Envisageable		Surface foncière à prévoir pour la mise en place du solaire thermique.
Solaire thermique (CESI)	Inadapté		Adapté aux logements pour un taux de couverture de l'ordre de 45 % pour les collectifs et 70% pour les individuels
Solaire thermique (SSC)	Adapté		Surface de capteurs nécessaires importante, mais intéressent pour l'industrie besoins annuelles.
Photovoltaïque	Adapté		La Loi Energie Climat du 8 novembre 2019 via l'article 47, impose la création de toiture végétalisée ou d'installation photovoltaïque pour toute nouvelle construction (création et extension) de plus de 1000m ² d'emprise au sol à usage commercial, industriel, artisanal.
Valorisation des déchets	Inadapté		Echelle du projet et contexte urbain inappropriée
Géothermie Basse Energie	Inadapté		Echelle du projet inappropriée - Pas de potentiel avéré dans la région.
Géothermie Très basse énergie (Capteurs horizontaux)	Inadapté (encombrement capteurs)		Surface de captage trop importante par rapport à la surface disponible.
Géothermie Très basse énergie (Capteurs verticaux)	Adapté (sous réserve d'une distance entre forage suffisant)		Solution qui pourrait à priori être envisagée . Une étude complémentaire et un forage d'essai devront être réalisés pour valider le potentiel géothermique de la zone. Respect des distances entre forages et vis-à-vis des parcelles voisines à considérer. Investissement important impactant la pertinence économique,
Aérothermie (compression électrique)	Adapté		Veiller à minimiser les nuisances sonores - Intégration architecturale. Solution souvent mise en avant dans la construction RT2012 (habitat individuel et collectif).
Aérothermie (compression gaz)	Inadapté		Plages de puissances compatibles.
Grand Eolien	Inadapté		Inapplicable selon la loi Grenelle II.
Petit Eolien	Envisageable		Intérêt expérimental - Etudes complémentaires sur la faisabilité de telles installations nécessaires.
Bois énergie (chaudières granulés)	Inadapté		Adapté aux logements ou aux petits bâtiments tertiaires.
Chaufferie bois déchiquetée collective + création d'un réseau de chaleur Bois énergie	Adapté		Nécessite d'avoir plus d'information sur le projet pour savoir si la densité thermique est suffisante pour garantir une rentabilité économique intéressante à court terme.
Hydraulique	Inadapté		Pas de ressource disponible.

Les solutions définies comme « Adaptées » présentent un potentiel exploitable. Cependant, même si le potentiel est intéressant, la pertinence de la rentabilité économique des différentes solutions est parfois difficile à atteindre et malgré l'approche économique réalisée pour chaque solution dans cette étude reste à définir en détail au cas par cas par une étude technico-économique.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements et les solutions énergétiques envisagées sont des ordres de grandeur et sont susceptible d'évoluer.

Il est utile de préciser que la mise en place d'énergies renouvelables requiert dans la majorité des cas une énergie d'appoint. Les énergies d'appoint seront dans ce cas, et en fonction des solutions d'énergies renouvelables adoptées, le gaz ou l'électricité.

Il sera donc impératif lors de la viabilisation du terrain, de prévoir l'implantation des réseaux pour l'énergie d'appoint lorsqu'elle est nécessaire.

Les potentiels existants en matière d'énergies renouvelables sont classés selon leur pertinence économique à long terme et sont principalement :

1. PAC aérothermique,
2. Chaufferie centrale bois déchiqueté,
3. Photovoltaïque en autoconsommation,
4. PAC géothermique,
5. Solaire thermique SCC,
6. Réseau de chaleur solaire thermique
7. Eventuellement le petit éolien.

La première année, la répartition des dépenses totales pour chaque solution est la suivante :

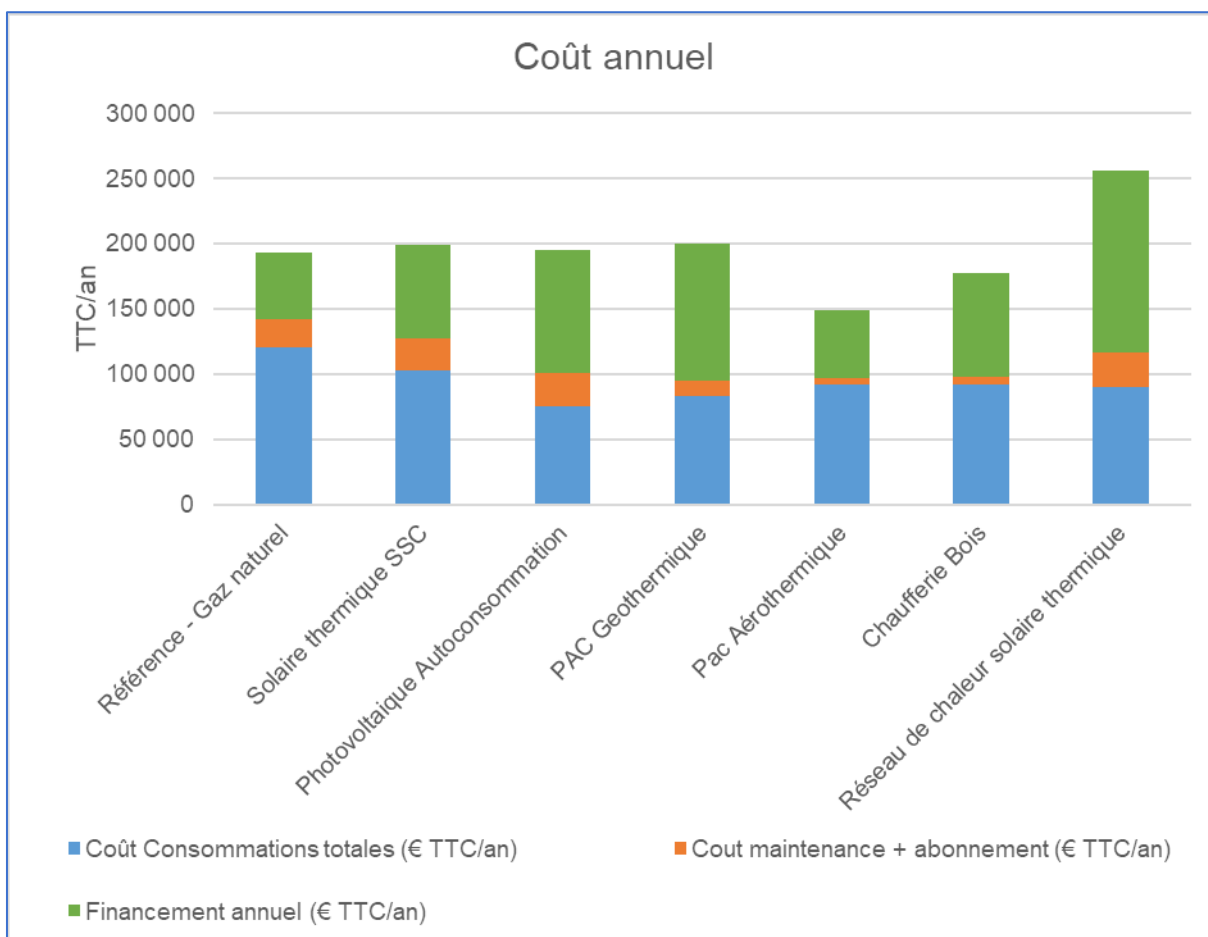


FIGURE 84 : DEPENSE ANNUEL LORS DE LA PREMIERE ANNEE

Sur le graphique suivant, nous rappelons les consommations de combustible pour chaque solution :

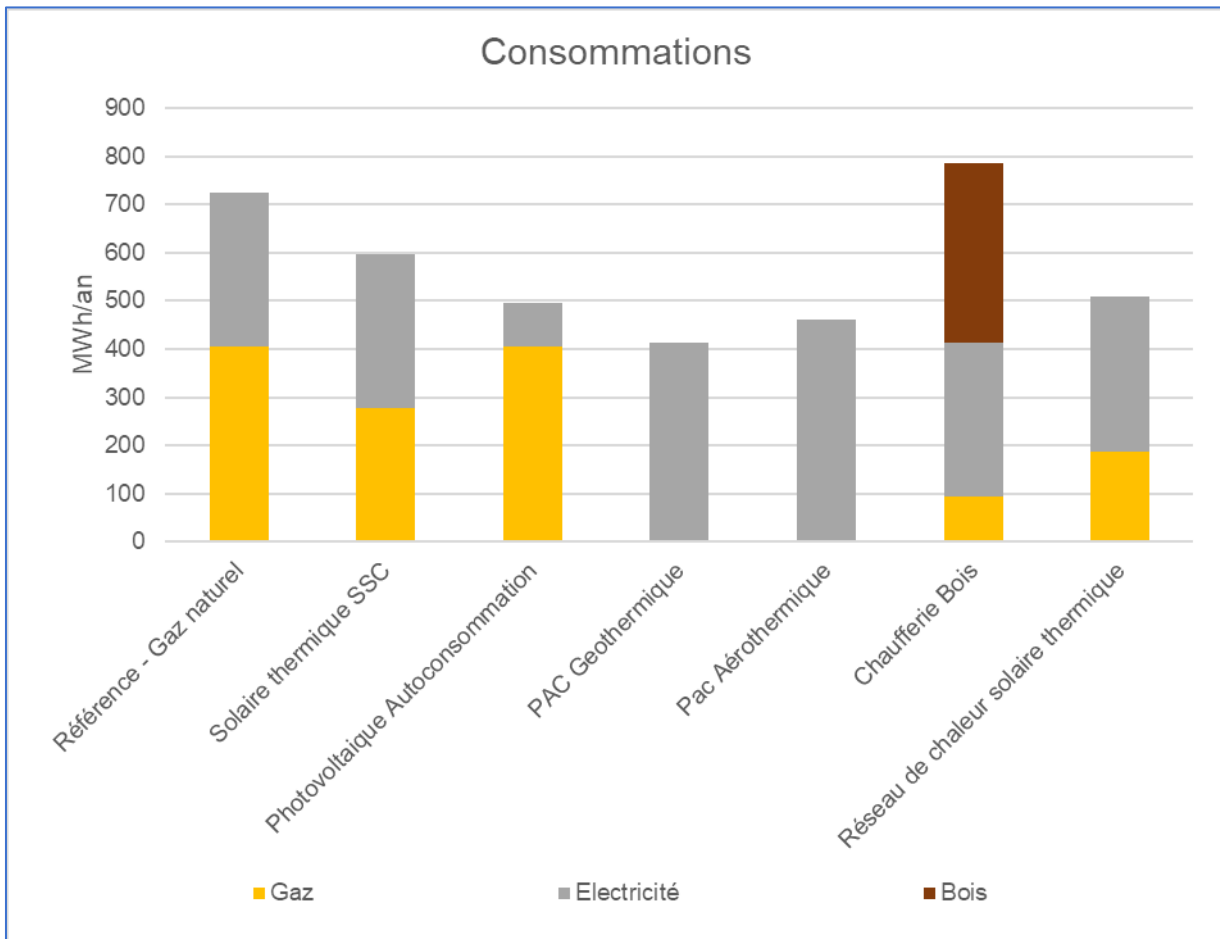


FIGURE 85 : CONSOMMATIONS DE COMBUSTIBLES

D'un point de vue environnemental, les solutions bois, PAC présentent les meilleurs bilans d'émissions de CO2.

On précisera que les avantages d'un point de vue environnemental des solutions ayant recours aux énergies renouvelables auront un impact non négligeable sur la conformité des projets à la réglementation thermique 2012 et d'autant plus pour la future réglementation.

A noter que ces solutions, même lorsqu'elles manifestent des intérêts certains, ne sont pas toujours compatibles entre elles d'un point de vue rentabilité.