



LE MANS METROPOLE COMMUNE de CHAMPAGNE

Secteur de Bretèche

Étude de faisabilité sur le potentiel de
développement des énergies renouvelables



I – Préambule

1. Cadre de l'étude
2. Intérêt de l'étude

II – Présentation de l'opération**III – Estimation des consommations en énergie et des émissions de GES**

1. Règlementation en vigueur
2. Estimation des consommations
3. Estimations des émissions de GES

IV – Ressources locales en énergies renouvelables

1. Le potentiel des énergies renouvelables à l'échelle de la planète
2. La stratégie environnementale
3. L'approche climatique
4. L'approche hydrogéologique
5. La bioénergie et la biomasse
6. L'énergie hydraulique

V – Opportunités de développement et d'utilisation des énergies renouvelables

1. Utilisation de l'énergie éolienne
2. Utilisation de l'énergie solaire
3. L'aérothermie
4. La géothermie
5. Le bois énergie
6. La biomasse
7. La récupération des eaux grises
8. La route piézoélectrique
9. La gestion de la ressource en eau

VI – Production centralisée**VII – Synthèse des technologies****VIII – Scénarii envisagés****IX - Conclusion**



Cadre de l'étude

Le cadre légal du volet énergie de la présente étude est l'article L300-1-1 du Code de l'urbanisme :

"Toute action ou opération d'aménagement soumise à évaluation environnementale doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération."

Le présent document a donc pour objectif de dresser un inventaire objectif et exhaustif des énergies renouvelables présentes et disponibles.

Ces éléments permettent ensuite de mener une réflexion globale, à l'échelle de la zone d'aménagement, sur les faisabilités d'utilisation des énergies renouvelables ainsi que la récupération et la valorisation des énergies utilisées.

Intérêt de l'étude

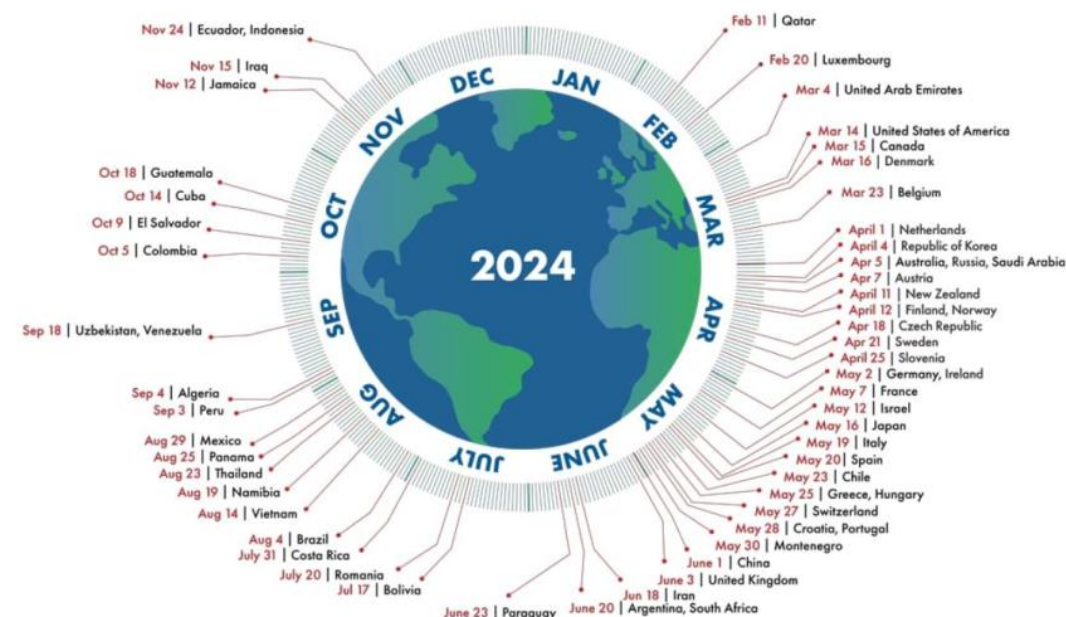
Jour du dépassement

En 2024, depuis le 1er août, l'humanité vit à crédit sur la planète Terre, après avoir consommé la totalité des ressources que la planète peut renouveler en 1 an. Pour calculer cet impact, sont prises en compte l'empreinte carbone, les ressources consommées pour la pêche, l'élevage, les cultures, la construction et l'utilisation d'eau.

Même si le rythme de progression du "jour du dépassement" ralentit depuis quelques années, cette date symbolique a d'année en année, considérablement avancé : cette journée se situait début octobre en 1995 et fin novembre en 1975. L'impact de cette surconsommation est déjà visible : pénuries en eau, désertification, érosion des sols, chute de la productivité agricole et des stocks de poissons, déforestation, disparition des espèces.

Country Overshoot Days 2024

When would Earth Overshoot Day land if the world's population lived like...



Source : National Footprint and Biocapacity Accounts

Les émissions de gaz à effet de serre représentent à elles seules 60% de l'empreinte écologique mondiale. Toutefois, malgré la croissance de l'économie mondiale, les émissions de CO₂ liées à l'énergie sont stables depuis 2003. Cela peut s'expliquer en partie par le développement important des énergies renouvelables pour la production d'électricité.

Ainsi, il s'agit de diminuer les émissions de gaz à effet de serre pour limiter l'ampleur des changements climatiques et de réduire les consommations d'énergie dont les sources sont limitées.

Les énergies renouvelables engendrent peu ou pas de déchets ou d'émissions de polluants. Elles participent donc à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO₂ dans l'atmosphère. De plus, elles facilitent la gestion raisonnée des ressources locales et génèrent des emplois.

Adaptabilité et vulnérabilité du territoire

Les projections climatiques du DRIAS mettent en évidence pour différents scénarios une augmentation de la température moyenne annuelle au cours des prochaines décennies.

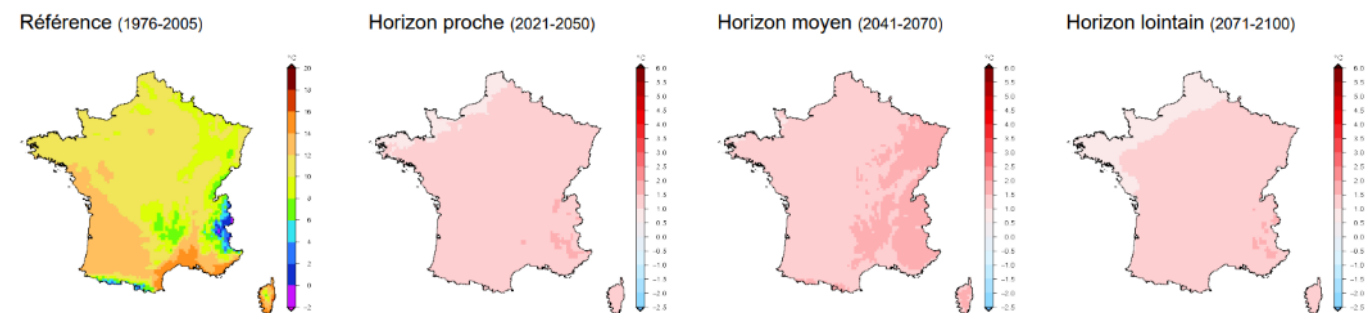
Dans un scénario "optimiste" (scénario avec une politique climatique visant à faire baisser les concentrations en CO₂), le réchauffement climatique pour la Région Pays de la Loire, c'est-à-dire l'augmentation de la température moyenne sur l'année, est d'un peu moins de 2°C. Mais cette augmentation se stabilise en fin de siècle.

En revanche, pour un scénario "pessimiste" (scénario sans politique climatique), la température ne cesse d'augmenter. A l'horizon 2100, une augmentation de la température moyenne sur l'année de +4°C pourrait être constatée.

L'augmentation de la température extérieure induit des périodes caniculaires plus importantes.

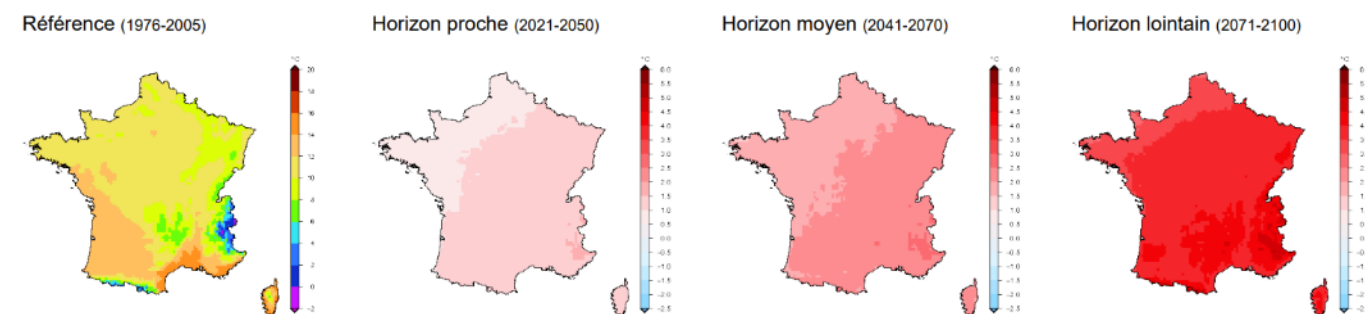
Ainsi, il convient tout d'abord de limiter les ilots de chaleur en préférant les espaces verts et arborés qui apportent de la fraîcheur aux espaces imperméabilisés.

Puis, d'anticiper pour les constructions, des protections solaires et une orientation réfléchie des pièces de vie.



Projections climatiques suivant un scénario avec une politique climatique visant à faire baisser les concentrations en CO₂ (scénario « optimiste »)

Source : DRIAS – Modèle Aladin de Météo France



Projections climatiques suivant un scénario sans politique climatique (scénario « pessimiste »)

Source : DRIAS – Modèle Aladin de Météo France

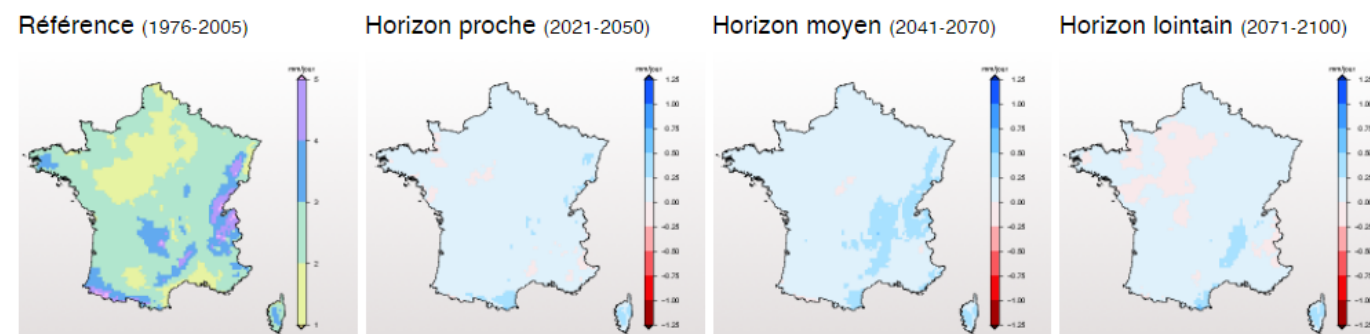
Comme pour les températures, un des impacts du changement climatique est l'augmentation des précipitations sur l'année.

Le scénario "optimiste" envisage une augmentation de 0,5 mm par an avec une stabilisation voire une diminution au siècle prochain.

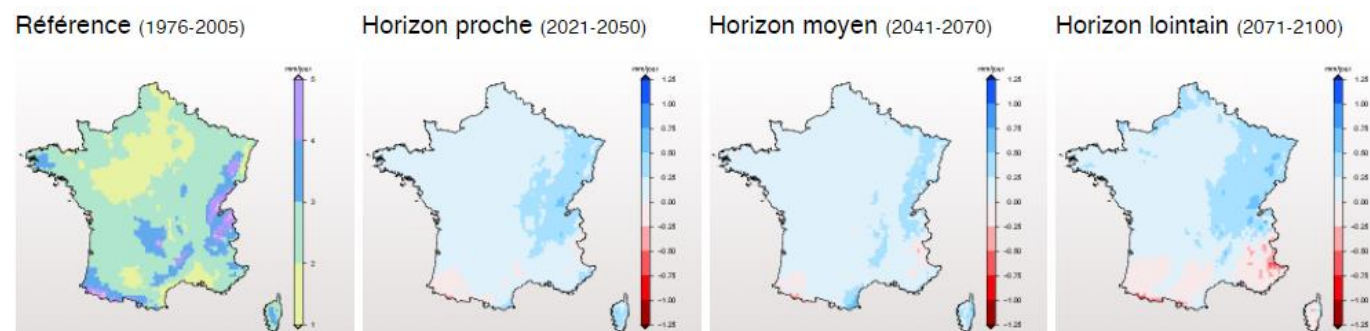
Pour le scénario "pessimiste", les précipitations augmentent et se stabilisent durant le siècle.

L'augmentation des précipitations ne conduit pas à une augmentation du nombre de jours de pluie mais à des épisodes pluvieux plus intenses.

Ainsi, pour s'adapter au changement climatique, il convient de limiter l'imperméabilisation des sols et d'encourager l'infiltration des eaux pluviales pour éviter la surcharge des réseaux.



Projections des précipitations suivant un scénario avec une politique climatique visant à faire baisser les concentrations en CO2 (scénario « optimiste »)
Source : DRIAS – Modèle Aladin de Météo France



Projections des précipitations suivant un scénario sans politique climatique (scénario « pessimiste »)
Source : DRIAS – Modèle Aladin de Météo France

Pour information, le DRIAS les futurs du climat a pour vocation de mettre à disposition des projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat (IPSL, CERFACS, CNRM). Les informations climatiques sont délivrées sous différentes formes graphiques ou numériques.



© parenthesesURBaineS – 2022

II – Présentation de l'opération

Présentation de l'opération

La future ZAC de la bretèche sur la commune de Champagné est une opération d'aménagement, à vocation résidentielle. Elle se compose principalement de logements individuels et intermédiaires (maximum 166 logements). Le programme envisagé se décompose de la manière suivante :

- Pour la tranche 1 :
 - 30 logements individuels;
 - 11 terrains à bâtir d'une superficie de 400m² chacun.
- Pour la tranche 2:
 - 36 logements individuels;
 - 12 logements intermédiaires.
- Pour la tranche 3:
 - 16 logements intermédiaires;
 - 30 terrains à bâtir d'une superficie de 300m² chacun.
- Pour la tranche 4:
 - 13 logements individuels en bande;
 - 9 terrains à bâtir d'une superficie de 400m² chacun;
 - 9 terrains à bâtir d'une superficie de 300m² chacun.



Logements sociaux

- : logts PLUS/PLAI (individuels îlot)
- : logts PLUS/PLAI (intermédiaires)
- : logts PSLA (individuels en bande)

Promotion privée

- : logts promoteurs (intermédiaires)
- : logts promoteurs (individuels îlot)
- : logts promoteurs (individuels en bande)

Accession privée

- : terrains à bâtir 300 m²
- : terrains à bâtir 400 m²

Source : Praxeo



© parenthesesURBaineS – 2022

III – Estimation des consommations en énergie et des émissions de GES

● Réglementation en vigueur

Depuis le 1^{er} janvier 2022 (pour les bâtiments ou parties de bâtiments à usage d'habitation) et depuis le 1^{er} juillet 2022 (pour les bâtiments ou partie de bâtiments de bureaux, d'enseignement primaire ou secondaire), la réglementation environnementale des bâtiments neufs (uniquement pour les logements pour le moment), RE 2020, succède à la RT 2012, et a été préfigurée par l'expérimentation E+C-.

Une des principales nouveautés de cette réglementation par rapport aux réglementations thermiques précédentes est l'apparition d'exigences en matière d'émissions de gaz à effet de serre, permettant ainsi de diminuer l'impact carbone des bâtiments neufs.

Le projet est soumis à la RE2020.

Les objectifs :

Les trois grands objectifs généraux de la RE 2020 sont :

Un objectif de sobriété énergétique

La réduction des consommations d'énergie reste un des objectifs de la RE 2020, comme les réglementations thermiques précédentes. Les niveaux de performances énergétiques calculés en RE 2020 ne sont pas directement comparables à ceux de la RT 2012, du fait du changement de la surface de référence, et de l'élargissement du champ de certains indicateurs. Cependant, en ordre de grandeur, un bâtiment conforme à la RE 2020, modélisé à l'identique avec la méthode de calcul de la RT 2012, voit ses besoins énergétiques diminuer d'environ 30% par rapport au seuil réglementaire de la RT 2012.

La RE 2020 impose également de réduire en priorité l'usage des énergies non renouvelables et à recourir davantage à des énergies renouvelables.



● Une diminution de l'impact carbone des bâtiments neufs et une décarbonation de l'énergie

La RE 2020 a notamment pour but de réduire l'impact carbone des constructions neuves, que ce soit dans leur processus de construction ou pendant leur durée de vie établie sur 50 ans.

Elle encourage les modes de construction émettant peu de gaz à effet de serre, l'utilisation de matériaux et d'équipements écoresponsables pour la construction et le recours aux matériaux biosourcés et au bois.

Des exigences portant sur les émissions de GES liées aux matériaux de construction et équipements, sur leur cycle de vie sont fixées.

La RE 2020 fixe des exigences progressives et différenciées selon la typologie de bâtiment, pour diminuer de 30% à 40% les émissions de la construction.

Afin de sortir des énergies fossiles, et de limiter l'impact sur le changement climatique de la consommation d'énergies pendant l'utilisation du bâtiment sur toute sa durée de vie, la RE 2020 fixe également un seuil maximal d'émissions de gaz à effet de serre des consommations d'énergie.

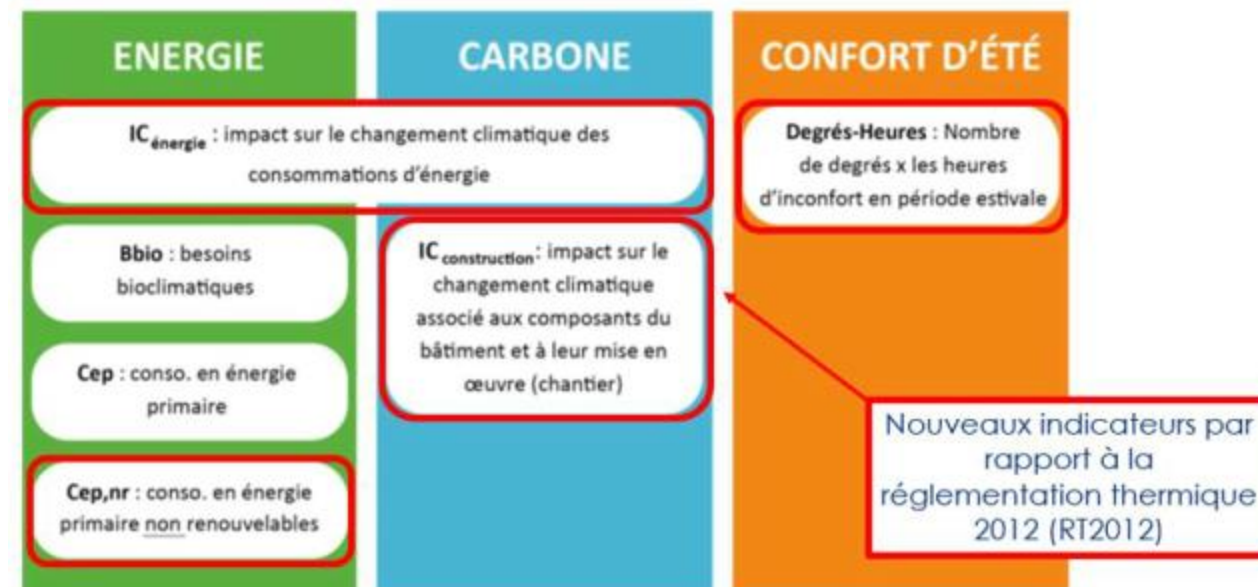
● Une garantie de confort en cas de forte chaleur

Dans un contexte de réchauffement climatique, les bâtiments devront faire face à des températures de plus en plus élevées et des épisodes caniculaires plus fréquents. Le confort d'été est mieux pris en compte dans la RE 2020 afin de limiter l'inconfort en période de forte chaleur et d'éviter le recours systématique à la climatisation.

Les indicateurs de performance :

La RE 2020 comporte plusieurs indicateurs de performance, dont 6 doivent répondre à des plafonds à ne pas dépasser, les autres étant calculés à titre informatif ou servant au calcul des indicateurs soumis à des plafonds.

Les 6 indicateurs (dont 4 nouveaux) sont donnés ci-contre.



Estimation des consommations

Le tableau ci-contre indique les consommations prévisionnelles estimées. Les seuils de consommations sont ceux précisés dans la RE 2020.

Les consommations sont exprimées en kWhEP/m² et par an et correspondent à la quantité d'énergie primaire nécessaire pour couvrir les besoins en chauffage refroidissement, production d'ECS éclairage et auxiliaires de ventilation et de distribution.

C'est la surface habitable (SHAB) qui est prise en compte dans la RE 2020 pour les logements.

Les surfaces habitables ont été estimées et il a été considéré dans les calculs :

- 110m² pour les logements individuels sociaux et logements individuels en bande (sociaux et promotion privée);
- 100m² pour les logements intermédiaires sociaux;
- 90m² pour les logements individuels et intermédiaires en promotion privée;
- 130m² pour les logements des terrains à bâtir.

Les besoins en énergie pourront varier de façon importante en fonction :

- du comportement des utilisateurs (surchauffe des locaux, éclairage allumé en permanence, durée des douches etc...);
- du nombre de personnes dans les bâtiments;
- de l'occupation des bâtiments (toute la journée, seulement le matin et le soir);
- des équipements des locaux (électroménager, informatique, type d'éclairage...).

Tranche	Type d'habitat	SHAB [m ²]	Seuil de consommation [kWhEP/m ² .an]	Consommation annuelle estimée [kWhEP]
1	12 logements sociaux individuels	1 320	75	99 000
	18 logements individuels en bande (promotion privée)	1 980	75	148 500
	11 terrains à bâtir d'une superficie de 400m ² chacun (logements individuels)	1 430	75	107 250
2	12 logements sociaux individuels	1 320	75	99 000
	24 logements individuels (promotion privée)	2 160	75	162 000
	12 logements sociaux intermédiaires	1 200	75	90 000
3	16 logements intermédiaires (promotion privée)	1 440	75	108 000
	30 terrains à bâtir d'une superficie de 300m ² chacun (logements individuels)	3 900	75	292 500
4	13 logements sociaux en bande	1 430	75	107 250
	9 terrains à bâtir d'une superficie de 300m ² chacun (logements individuels)	1 170	75	87 750
	9 terrains à bâtir d'une superficie de 400m ² chacun (logements individuels)	1 170	75	87 750
TOTAL			1 389 [MWhEP/an]	

● Estimation des émissions de GES

La RE 2020 fixe un seuil maximal d'émissions de gaz à effet de serre des consommations d'énergie afin de s'assurer que les énergies utilisées soient les moins carbonées possible. Effectivement, l'enjeu est de cesser d'utiliser des énergies fossiles dans les bâtiments neufs.

En logement individuel, où les solutions non fossiles sont très courantes et parfaitement maîtrisées (notamment la pompe à chaleur ou le chauffage biomasse), le seuil est fixé à **160 kgCO₂/m²**

Tranche	Type d'habitat	SHAB [m ²]	Seuil d'émission de GES [kgCO ₂ /m ² .an]	Emission de CO ₂ annuelle estimée [kgCO ₂]
1	12 logements sociaux individuels	1 320	160	211 200
	18 logements individuels en bande (promotion privée)	1 980	160	316 800
	11 terrains à bâtir d'une superficie de 400m ² chacun (logements individuels)	1 430	160	228 800
2	12 logements sociaux individuels	1 320	160	211 200
	24 logements individuels (promotion privée)	2 160	160	345 600
	12 logements sociaux intermédiaires	1 200	160	192 000
3	16 logements intermédiaires (promotion privée)	1 440	160	230 400
	30 terrains à bâtir d'une superficie de 300m ² chacun (logements individuels)	3 900	160	624 000
4	13 logements sociaux en bande	1 430	160	228 800
	9 terrains à bâtir d'une superficie de 300m ² chacun (logements individuels)	1 170	160	187 200
	9 terrains à bâtir d'une superficie de 400m ² chacun (logements individuels)	1 170	160	187 200
TOTAL			2 963 [tCO₂]	



© parenthesesURBaineS – 2022

IV – Ressources locales en énergies renouvelables

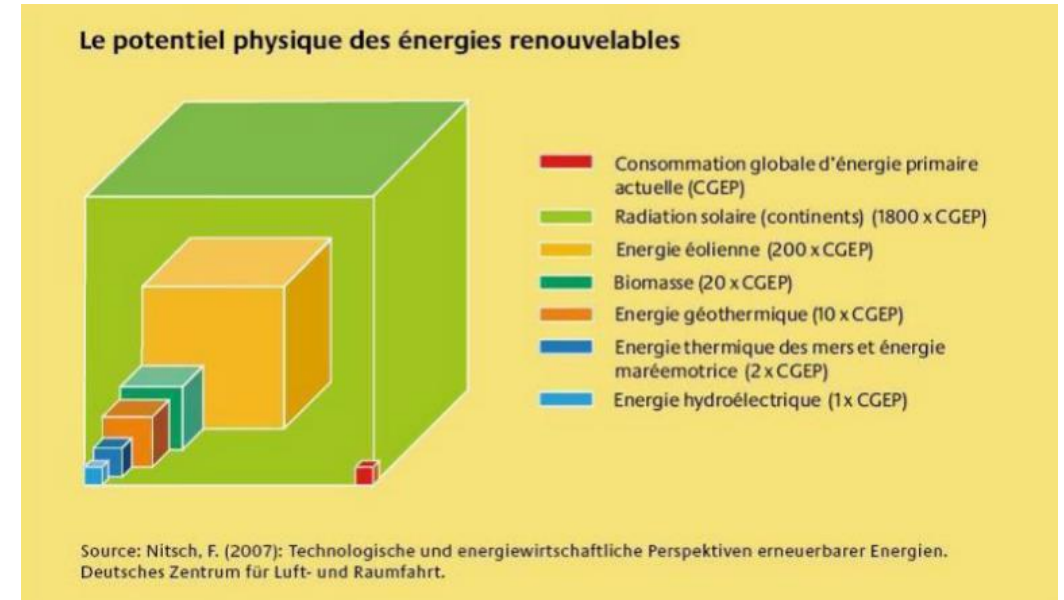
Le potentiel des énergies renouvelables à l'échelle de la planète

Ce chapitre identifie dans la commune de Champagné et plus précisément sur la zone de projet, les énergies renouvelables mobilisables pour couvrir tout ou partie des besoins exprimés précédemment. Pour ce faire, il est nécessaire de puiser de l'énergie dans le potentiel offert par les énergies renouvelables. Le diagramme ci-dessous explicite le potentiel énergétique renouvelable de notre planète.

Le cube rouge dans le coin inférieur droit symbolise la consommation énergétique mondiale.

Les différents autres cubes quantifient les potentiels des différentes sources énergétiques renouvelables, jusqu'au grand cube vert représentant l'énergie offerte par le rayonnement solaire.

Il y a donc un réel potentiel d'énergies renouvelables à l'échelle de notre planète !



La stratégie environnementale

Le contexte national et régional

La présente étude s'inscrit dans un contexte national et régional de stratégie environnementale à respecter.

La Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) ainsi que le Schéma Régional d'Aménagement de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET) des Pays de la Loire approuvé le 7 février 2022 (actuellement en cours de modification par délibération du 7 juillet 2022), fixent notamment des objectifs ambitieux en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de réduction des consommations d'énergie (en particulier fossiles) et d'augmentation de la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique français.

Le SRADDET se substitue à plusieurs schémas régionaux existants, par exemple le Schéma Régional de l'Air, de l'Énergie et du Climat (SRCAE). Il définit plusieurs règles pour l'aménagement du territoire avec pour objectif de relever collectivement le défi de la transition environnementale en préservant les identités territoriales ligériennes. Il s'agit tout particulièrement de tendre vers la neutralité carbone et déployer la croissance verte en :

- diminuant les consommations énergétiques et les émissions de GES : massifier la rénovation du parc immobilier, décarboner les mobilités, améliorer les performances dans l'industrie et l'agriculture...;
- devenant une région à énergie positive en 2050.



Objectifs du SRADDET



Objectifs de la LTECV

Le contexte local

Champagné fait partie intégrante de la Communauté Urbaine « Le Mans Métropole ». La collectivité est très engagée dans la transition écologique.

Dès 2019, des actions sont menées en faveur du développement durable sur différentes thématiques :

- Les énergies :
 - Lancement d'un plan énergie solaire avec pour objectif de quintupler les installations existantes.
 - Développement du réseau de chaleur.
 - Construction d'une unité de méthanisation.
- Les déplacements :
 - Lancement des premiers bus à hydrogène.
 - Accompagnement de l'autopartage de véhicules.
 - Incitation à (bien) manger local.
- L'environnement :
 - Utilisation du bois et développement de la végétalisation pour les projets de construction et de rénovation.
 - Réflexion pour renforcer en ville la présence de l'eau, facteur de bien-être et de fraîcheur.
 - Soutien de l'agriculture métropolitaine.

La collectivité s'est également engagée dans un Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) pour la période 2020-2026. Il se décline en une série d'actions locales, qui s'inscrivent dans une approche globale des enjeux liés au dérèglement climatique et pour atteindre les buts suivants :

- Améliorer l'efficacité énergétique;
- Augmenter la production d'énergie renouvelable;
- Valoriser le potentiel en énergie de récupération;
- Favoriser la biodiversité pour adapter le territoire au changement climatique;
- Limiter les émissions de gaz à effet de serre;
- Anticiper les impacts du changement climatique.

Des actions ont déjà été réalisées ou initiées :

- Le Schéma Directeur des Energies a été approuvé en septembre 2023 dont l'objectif est de réduire les consommations d'énergies et augmenter les productions d'énergie renouvelable.
- La mise en place de réseaux de chaleur.
- L'installation d'infrastructures de recharge pour véhicules électriques.
- Le développement d'un écosystème hydrogène cohérent et innovant qui intègre production, distribution et usages.



L'approche climatique – Le potentiel éolien

Eléments de contexte régional

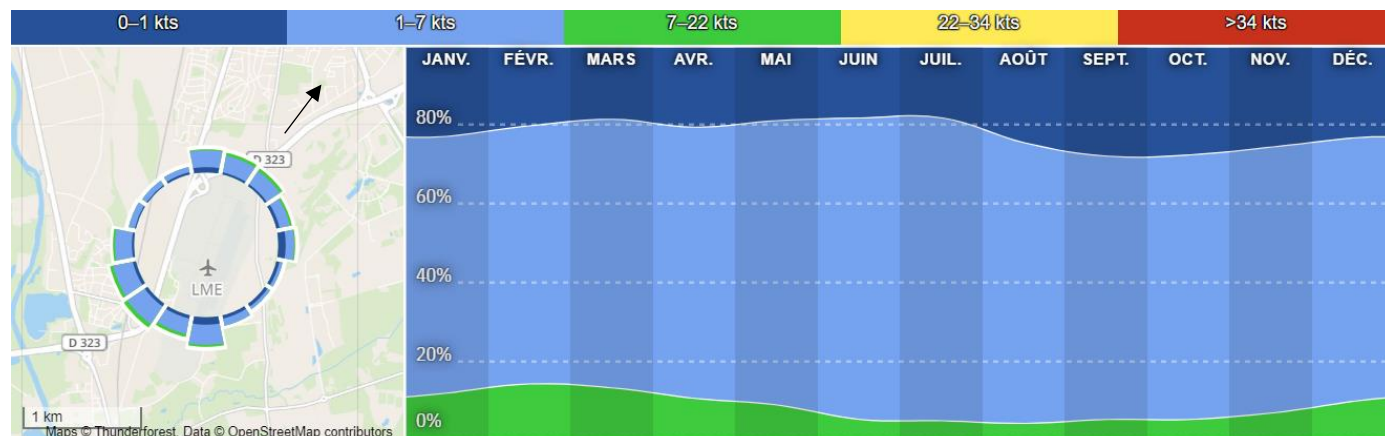
La région des Pays de la Loire a connu un développement dynamique de l'éolien ces dernières années, s'inscrivant dans une stratégie énergétique nationale visant à diversifier les sources d'énergie et à réduire les émissions de gaz à effet de serre. La région bénéficie de vents favorables et d'un ample territoire pour l'implantation des éoliennes en particulier le long des côtes. Des politiques publiques ambitieuses, soutenues par des projets de coopération entre les collectivités locales, les acteurs économiques et les citoyens, ont permis d'accélérer l'essor de ce secteur. De surcroît, la région cherche à favoriser les investissements dans les infrastructures et à renforcer les compétences locales pour accompagner cette transition énergétique, tout en tenant compte des enjeux environnementaux et de l'acceptabilité sociale des projets éoliens. Ce contexte régional favorable est également soutenu par un cadre législatif favorisant les énergies renouvelables, positionnant les Pays de la Loire parmi les régions leaders en matière d'éolien en France.

Contexte du projet

La rose des vents issue des relevés de la station météorologique de l'aéroport Le Mans-Arnage, située à environ 15 km au Sud-Ouest de Champagné, met en évidence une prédominance des vents venant du Sud, Sud-Est et Sud-Ouest en été et en hiver et des vents du Nord, Nord-Ouest et Nord-Est en mi-saison (Avril, Mai, Juin).

La quasi-totalité du temps, la vitesse du vent est faible (entre 1 à 7 kts soit entre 0,5 et 3,6 m/s) à très faible (entre 0 et 1kts). En hiver, les vents sont un peu plus forts (entre 7 et 22 kts soit entre 3,6 et 11 m/s) et peuvent représenter une part de plus de 15 %.

Kts : vitesse du vent en nœud



Rose des vents 2002/2024 - Source : Windfinder

Echelle de Beaufort		
Vitesse en kts	Termes	Effets à terre (à 10m de hauteur, en terrain plat et à découvert)
moins de 1	Calme	La fumée monte verticalement. Les feuilles des arbres ne témoignent d'aucun mouvement.
1 à 3	Très légère brise	La fumée indique la direction du vent. Les girouettes ne s'orientent pas.
4 à 6	Légère brise	On sent le vent sur le visage. Les feuilles s'agitent. Les girouettes s'orientent.
7 à 10	Petite brise	Les drapeaux flottent au vent. Les feuilles sont sans cesse en mouvement.
11 à 16	Jolie brise	Les poussières s'envolent. Les petites branches plient.
17 à 22	Bonne brise	Le tronc des arbustes et arbrisseaux en feuilles balance. La cime de tous les arbres est agitée. Des vaguelettes se froment sur les eaux intérieures.
22 à 27	Vent frais	On entend siffler le vent. Les branches de large diamètre s'agitent. Les parapluies sont susceptibles de se retourner.
28 à 34	Grand frais	Tous les arbres balancent. La marche contre le vent peut devenir difficile.

Echelle de Beaufort - Source : Wikipédia

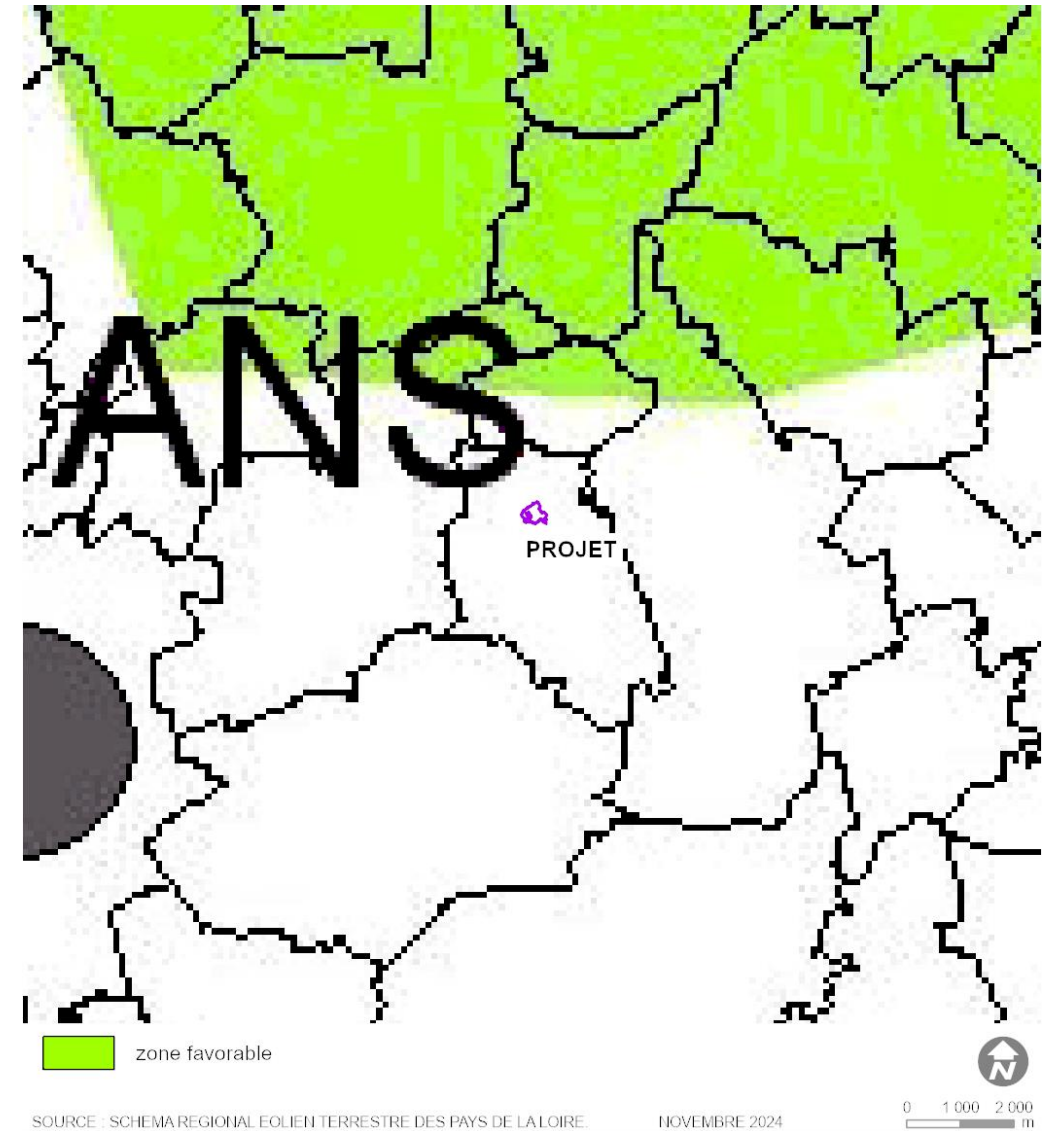
Toutefois, en considérant que pour assurer la faisabilité d'un projet éolien, les vitesses du vent doivent être de 6,5 m/s minimum, il apparaît clairement que l'installation de grandes éoliennes sur la zone de projet n'est pas optimale.

D'ailleurs la carte ci-contre montre que la zone de projet n'est pas située dans une zone favorable au développement de l'éolien.
Les petites éoliennes pourront toutefois être envisagées (voir paragraphe "Utilisation de l'énergie éolien").

La zone de projet n'est pas située dans une zone favorable à l'énergie d'origine éolienne.

D'autant plus que dans le cas d'installations dont le mât dépasse 50 mètres, une distance de 1 000 mètres doit être respectée par rapport aux constructions à usage d'habitation, aux immeubles habités et aux zones destinées à l'habitation définies dans les documents d'urbanisme. De ce fait, les installations de grandes tailles ne peuvent être envisagées pour la zone de projet.

En revanche, bien que la vitesse du vent ne soit pas optimale, l'installation de petites éoliennes peut être proposée avec une rentabilité faible.



Source : Schéma Régional éolien terrestre des Pays de la Loire

L'approche climatique – Le potentiel solaire

Eléments de contexte régional

La région Pays de la Loire connaît un développement croissant du photovoltaïque en raison de ses initiatives en matière de transition énergétique et de durabilité. Avec un ensoleillement favorable et une politique régionale proactive soutenant les énergies renouvelables, le territoire encourage l'installation de panneaux solaires, tant sur les bâtiments résidentiels qu'industriels. Les collectivités territoriales, en collaboration avec des acteurs privés, investissent dans des projets d'envergure pour augmenter la capacité solaire, favoriser l'autoconsommation et réduire les émissions de carbone.

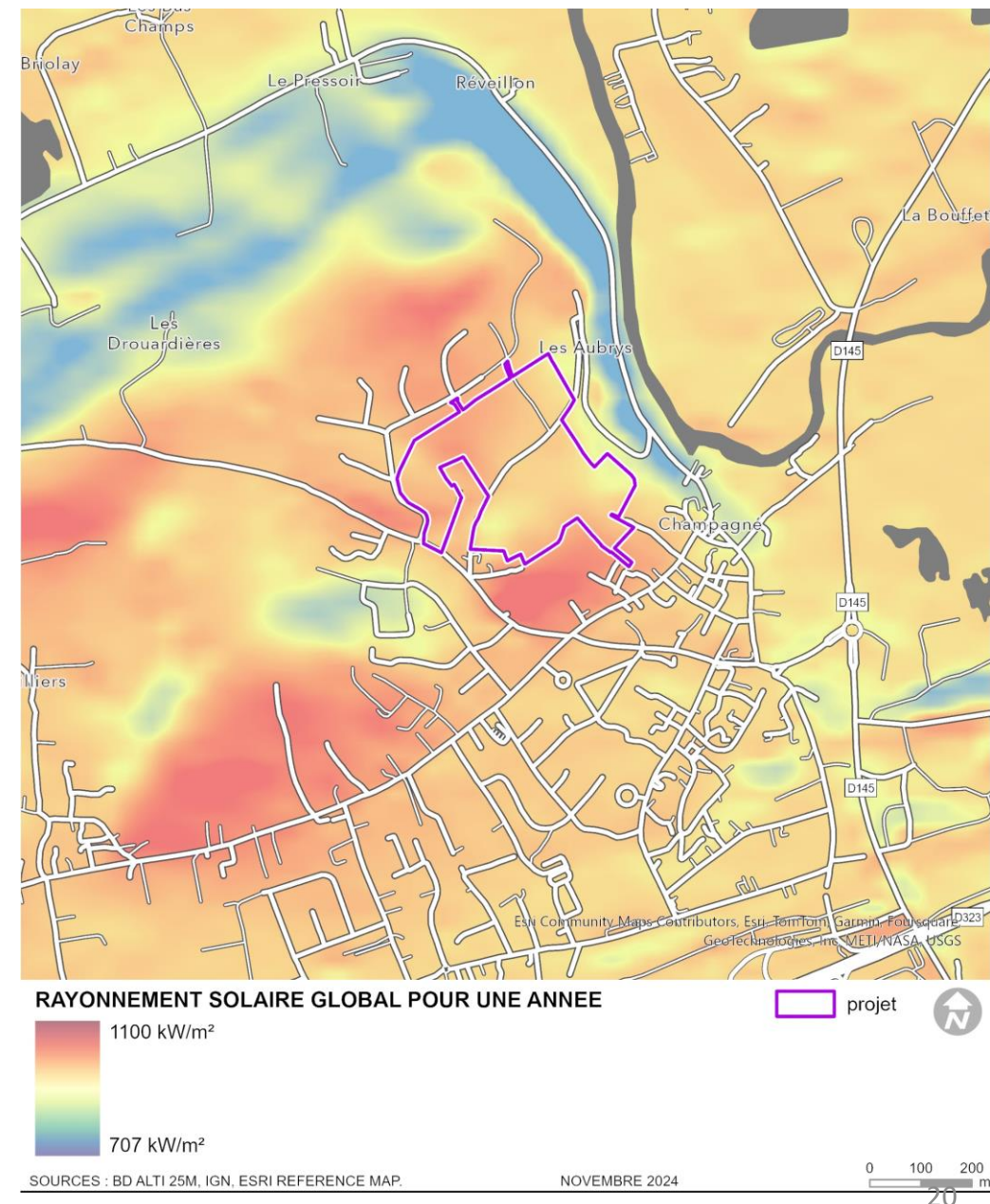
Contexte du projet

La carte ci-contre montre que le site étudié possède un potentiel solaire intéressant. L'énergie reçue y est suffisamment importante pour pouvoir être exploitée.

En 2024, la moyenne d'heures d'ensoleillement annuel à Champagné (station météorologique de Le Mans - Arnage aéroport) est d'environ 1 940 heures (2 760 heures pour Nice, 1 430 heures pour Brest et 800 heures pour Armentières (Lille)).

L'ensoleillement est très variable durant l'année : Décembre est le mois le moins ensoleillé avec 46 heures tandis que Juin est le plus ensoleillé avec plus de 314 heures.

La zone de projet est située dans une zone favorable à l'utilisation de l'énergie d'origine solaire.



L'approche hydrogéologique

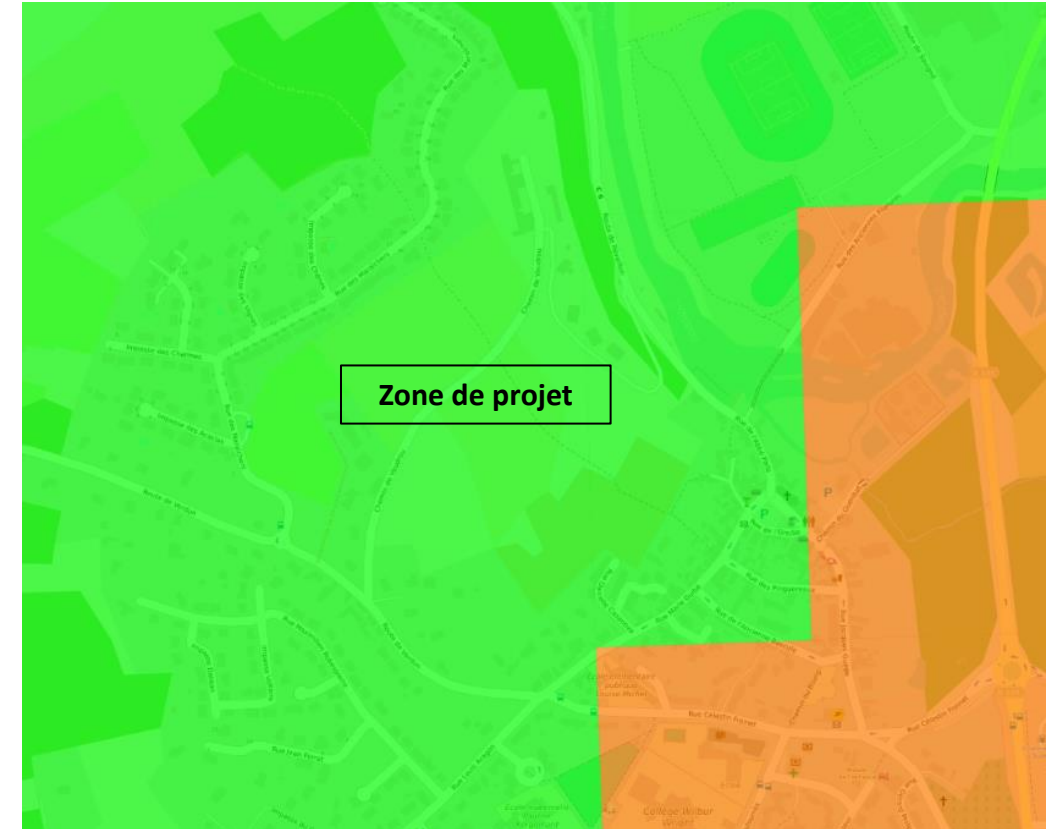
Eléments de contexte régional

L'objectif du SRADDET est de favoriser l'exploration et l'exploitation des ressources géothermiques, notamment pour la production de chaleur et d'électricité.

Contexte du projet

Les éléments de l'ADEME et BRGM (Géothermie perspective) montrent que la zone de projet est située en zone verte c'est-à-dire que la nature du sol, l'absence de cavités etc...permettent a priori l'installation de géothermie.

En zone verte, pour les petites installations et les installations domestiques (dont le débit est inférieure à 80 m³/h et la puissance soutirée est inférieure à 500kW), les démarches administratives sont allégées.



Source : Géothermie perspective

La zone de projet est située dans une zone favorable à l'utilisation de la géothermie.

La bioénergie et la biomasse

Eléments de contexte régional

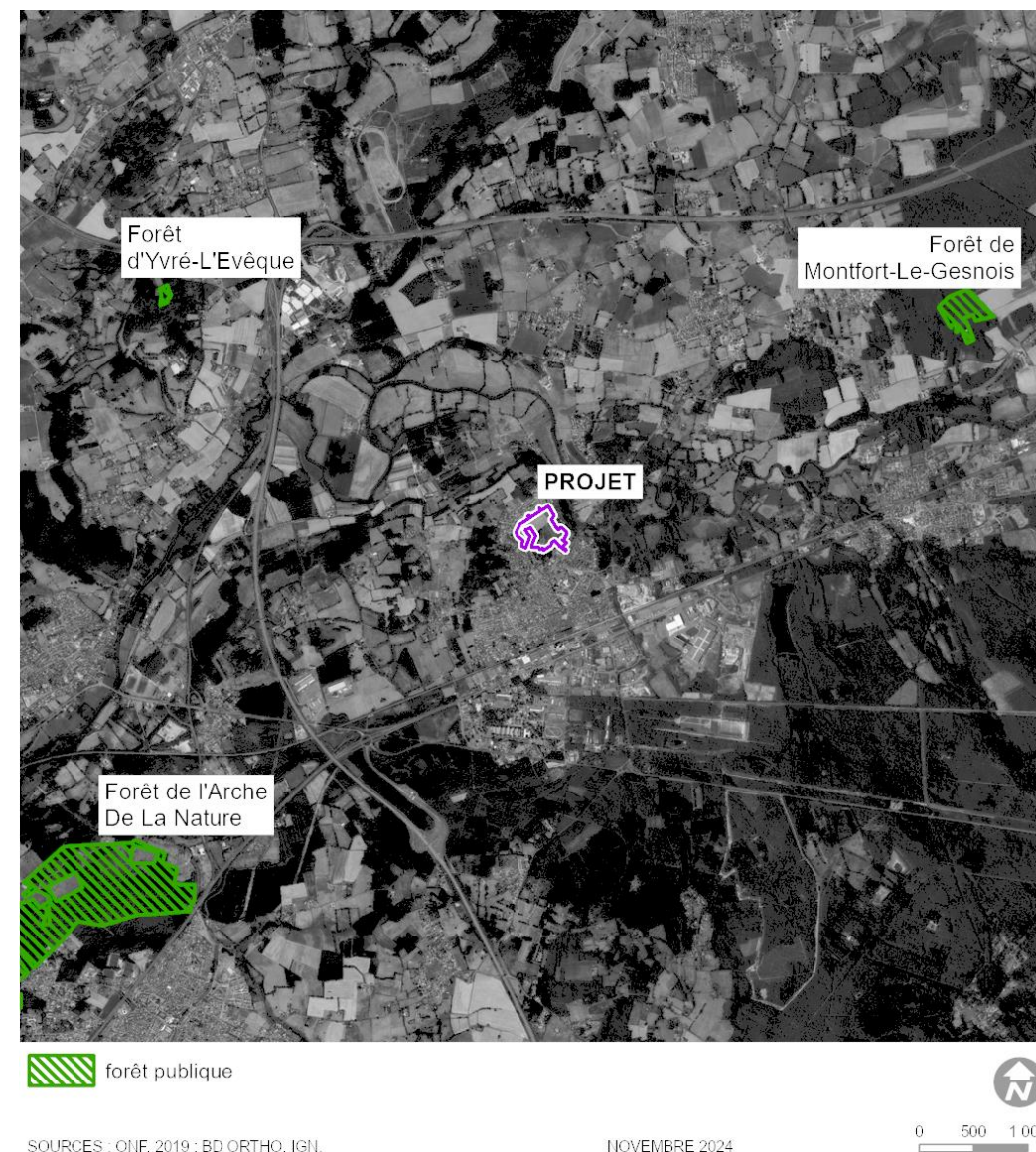
La synthèse des inventaires forestiers de l'IGN réalisés entre 2019 et 2023 annonçait les chiffres suivants pour la Région des Pays de la Loire :

- 411 000 ha de forêt.
- La superficie évolue en moyenne annuellement de +1,1% depuis 1984, c'est plus qu'en France (+0,7%).
- Le taux de boisement est de 13% (contre 32% en moyenne en France).
- La forêt privée représente 374 000 ha soit 91% de la superficie forestière du territoire, c'est plus que sur le territoire national où les forêts publiques représentent 75% de la superficie forestière.
- Le territoire est constitué à 75% de peuplements purement feuillus (67% pour le territoire national).
- Le volume de bois vivant présent dans les forêts est de 73 000 000m³.
- Le volume y évolue en moyenne annuellement de +3,3% depuis 1984, c'est plus qu'en France (+1,6%).

Le Schéma Directeur des Energies de Le Mans-Métropole réalisé en 2019 envisage une production supplémentaire de 39GWh par le bois énergie à l'horizon 2030.

Contexte du projet – Energie issue du bois et la biomasse

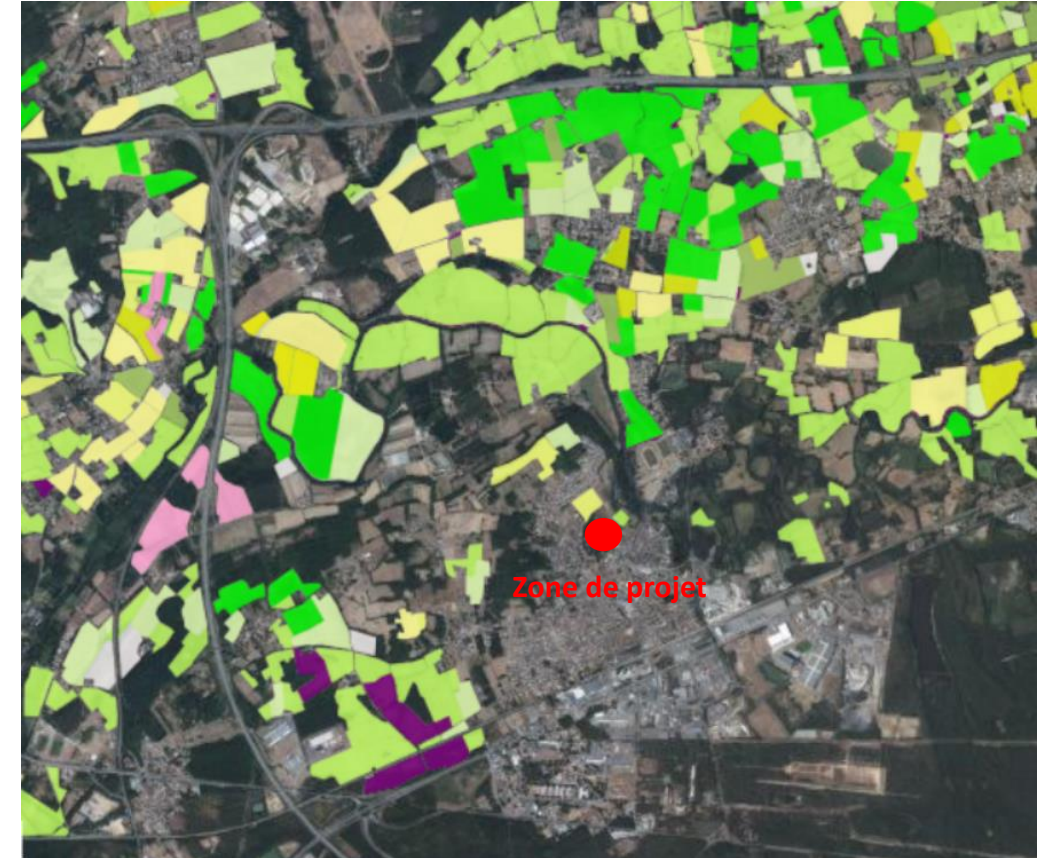
La carte ci-contre montre que des espaces boisés (forêts publiques) sont proches de la zone de projet. Ainsi, l'utilisation du bois comme énergie pourrait convenir, d'autant plus qu'il s'agira d'une ressource locale.



De nombreux espaces agricoles encerclent la zone de projet comme le montre la carte ci-contre. Ainsi, le potentiel d'exploitation de la biomasse pourrait également être intéressant.

Contexte du projet – Energie issue des déchets (biodéchets)

Les déchets peuvent être utilisés comme source d'énergie afin de produire de la chaleur et de l'électricité.



Source : Registre Parcellaire Graphique 2022

La zone de projet est située dans une zone favorable à l'utilisation du bois énergie et de la biomasse.

L'énergie hydraulique

Contexte régional

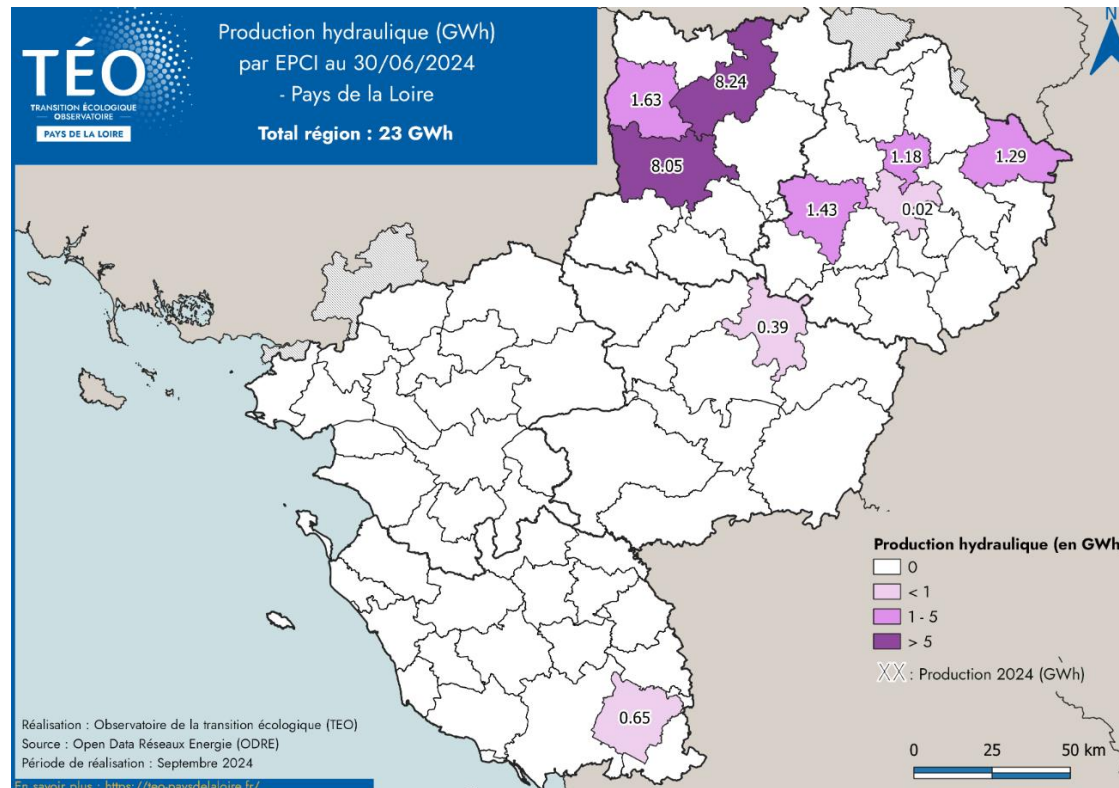
L'Observatoire de la Transition Ecologique (TEO) indique qu'en juin 2024, 23 GWh ont été produits par des installations en Pays de la Loire. Ces installations sont implantées le long des nombreux cours d'eau présents sur le territoire.

Dans le département de la Sarthe, l'hydroélectricité représente une puissance raccordée de 1,8 MW (7 installations) et produisant au global 3,6 GWh.

L'objectif du SRADDET est de se saisir des opportunités pour développer de façon générale tout type de production d'énergie renouvelable. Le développement de l'hydroélectricité est limité, une production de 30 GWh est visée à l'horizon 2050.

Contexte du projet

Même si un cours d'eau est à proximité de la zone de projet, les pistes "Energie hydroélectrique" (cycle de l'eau) et "Courant et marée" ne sont pas directement exploitables dans le périmètre de l'étude.



Source : Observatoire de la Transition Ecologique (TEO)

La localisation de la zone de projet ne permet pas d'exploiter l'énergie hydraulique.



© parenthesesURBaineS – 2022

V – Opportunités de développement et d'utilisation des énergies renouvelables

Utilisation de l'énergie éolienne

Description

Une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique (vitesse) du vent en énergie mécanique puis en énergie électrique.

Une éolienne se compose des éléments suivants :

- un mât qui permet de placer le rotor à une hauteur suffisante pour capter les vents dominants. Souvent, il comprend également un certain nombre de composants électriques et électroniques ;
- une nacelle généralement située en haut du mât abritant un certain nombre de composants nécessaires au fonctionnement de l'éolienne ;
- un rotor sous la forme d'une hélice placée perpendiculairement au vent. Ce rotor est entraîné par le vent et relié au système qui transformera l'énergie mécanique en énergie électrique (générateur) ;
- des éléments annexes, comme un poste de livraison pour injecter l'énergie électrique produite au réseau électrique, complètent l'installation.

Une éolienne à axe horizontal est une hélice perpendiculaire au vent, montée sur un mât. La hauteur est généralement de 20 m pour les petites éoliennes, et supérieure au double de la longueur d'une pale pour les modèles de grande envergure.



Eoliennes à axe horizontal

Une éolienne à axe vertical possède un rotor positionné verticalement, et est utilisée pour les applications de petite voire de moyennes puissances. Le principal avantage de cette installation est que la turbine n'a pas besoin d'être pointée vers la direction du vent pour être efficace. C'est un avantage sur les sites où la direction du vent est très variable.

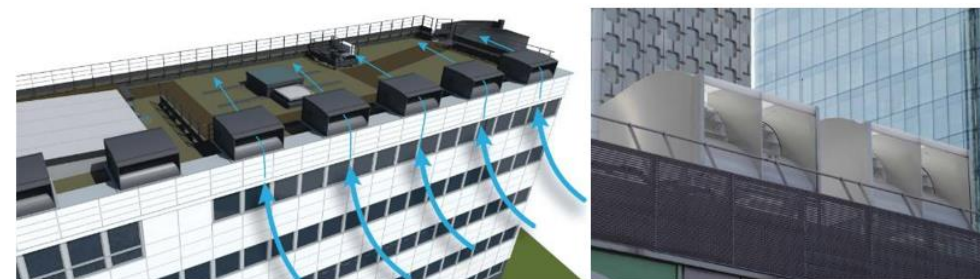


Eoliennes à axe vertical

Il existe également des éoliennes de toiture couplées avec des panneaux photovoltaïques.

Ces centrales de production d'électricité mixtes pour toiture sont positionnées sur l'arête des bâtiments afin de bénéficier des vents accélérés et d'une bonne exposition au soleil. Ces centrales sont très compactes, leurs productions varient en fonction des bâtiments et de leur environnement.

Elles sont vendues par lot de 5 et nécessitent une longueur de toiture au minimum de 12,5 mètres.



Eoliennes de toiture – Source : Wind my roof

L'application est différente selon la taille de l'éolienne :

- micro-éoliennes : pour couvrir des besoins très faibles (bateaux, caravanes) ;
- mini-éoliennes : pour recharger des batteries sur des sites isolés du réseau ;
- éoliennes domestiques : balayent un spectre assez large allant de rotors de 3 à 10 m de diamètre. C'est le genre d'éoliennes proposées aux particuliers ;
- éoliennes petites commerciales : conçues pour les petites entreprises, les fermes, ... mais il existe très peu de modèles produits dans cette gamme ;
- éoliennes moyennes commerciales : utilisées pour les applications commerciales dans des usines, entreprises voire des petits parcs éoliens ;
- éoliennes grandes commerciales : ce sont les éoliennes que l'on trouve dans les parcs éoliens modernes, ce sont aussi les plus efficaces.

Approche financière

Le coût d'investissement se situe entre 5 000 et 10 000 €/HT/kW pour une petite éolienne à axe horizontale et entre 10 000 et 25 000 €/HT/kW pour une petite éolienne à axe verticale.

Le coût d'installation est d'environ 2 500 €/HT/kW.

Le prix du raccordement au réseau d'un fournisseur pour lui revendre tout ou partie de l'électricité se situe entre 1 000 et 2 000 €/HT/kW.

Les petites éoliennes sont encore peu développées rendant l'estimation des coûts d'exploitation difficile pour le moment.

Synthèse

Une éolienne à axe vertical possède un rotor positionné verticalement, et est utilisée pour les applications de petite voire de moyennes puissances. Le principal avantage de cette installation est que la turbine n'a pas besoin d'être pointée vers la direction du vent pour être efficace. C'est un avantage sur les sites où la direction du vent est très variable.

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Eolienne à axe horizontal	• Production électrique toute l'année • Faibles frais de fonctionnement • Performance énergétique – Très bons rendements • Type d'éolienne le plus répandu sur le marché	• Investissement important • Impact sur le paysage • Les pales sont rigides et encombrantes • Bruit • Contraintes liées aux lignes électriques sur site
Eolienne à axe vertical	• Faibles frais de fonctionnement • Maintenance facile en partie basse du mât • Peu de contraintes de positionnement • Mât de petite taille • Coût inférieur à éoliennes horizontales	• Investissement important • Impact sur le paysage • Ne démarre qu'à une certaine vitesse de vent ou nécessite un démarrage mécanique • Faibles puissances • Performance moins bonne que les éoliennes à axe horizontal • Contraintes liées aux lignes électriques sur site
Eoliennes de toiture	• Système compact, pouvant être associé à des panneaux photovoltaïques • Fonctionne à partir de 10km/h (toute l'année) • Coût moins élevé que pour les précédentes solutions • Facilité d'installation	• Nécessite des toitures plates • Impact sur le paysage • Place et accessibilité en toiture • Contraintes liées aux lignes électriques sur site

L'installation d'éoliennes, dans la zone de projet, est peu envisageable (nuisances acoustiques, mauvais rendement...).

● Utilisation de l'énergie solaire – Les panneaux solaires thermiques

L'énergie solaire peut être exploitée de trois manières différentes par :

- l'implantation de capteurs solaires thermiques permettant de valoriser l'énergie reçue en chaleur ;
- l'exploitation de panneaux photovoltaïques permettant de valoriser l'énergie solaire reçue en électricité ;
- l'implantation de panneaux solaires hybrides permettant de produire de l'électricité et de la chaleur simultanément.

Description

Les panneaux solaires thermiques permettent de produire de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) et/ou du chauffage grâce à l'énergie solaire.

Ils captent le rayonnement solaire et le transforment en chaleur grâce à un absorbeur. L'absorbeur chauffe alors un fluide caloporteur qui transfère sa chaleur à un ballon de stockage (ECS ou chauffage) qui accumule la chaleur produite.

Les panneaux solaires doivent être convenablement positionnés, orientés et dimensionnés pour que l'installation fonctionne bien.

Ce système à accumulation grâce à la mise en place de ballons de stockage permet de pallier le caractère discontinu de l'énergie solaire. Aussi, comme l'ensoleillement n'est pas constant, le ballon de stockage est équipé d'un système d'appoint le plus souvent électrique. En grande majorité et en particulier pour les régions situées au Nord de la France, les panneaux solaires thermiques sont surtout utilisés pour la production d'ECS. Effectivement, pour le chauffage, la nécessité de maintenir plus longtemps la température de l'eau chaude conduit à un besoin d'appoint plus important entraînant une baisse d'efficacité de l'installation.

Il existe différentes technologies de capteurs :

- Les **capteurs plans** sont les plus couramment installés notamment dans le résidentiel. Ils sont constitués d'une plaque en métal noir qui absorbe le rayonnement solaire et qui est en contact avec les tubes contenant le fluide caloporteur. Un isolant résistant aux fortes températures est placé sous l'ensemble pour garder la chaleur dans les tubes.

Un vitrage en verre trempé recouvre les tubes pour chauffer encore plus le fluide caloporteur. Ces capteurs sont faciles à mettre en œuvre et un très bon rendement en été.

- Les **capteurs à tubes sous vide** composés de plusieurs tubes en verre placés les uns à côté des autres et dans lesquels une plaque métallique noire absorbe l'énergie solaire. Ces tubes sont placés sous vide pour limiter les pertes de chaleur. Ces capteurs sont plus chers que les capteurs plans mais offrent un meilleur rendement en particulier en hiver.



Capteurs plans



Capteurs sous vide

Approche financière

Le coût global d'une installation solaire (pour la production ECS) avec des capteurs plans est estimé à :

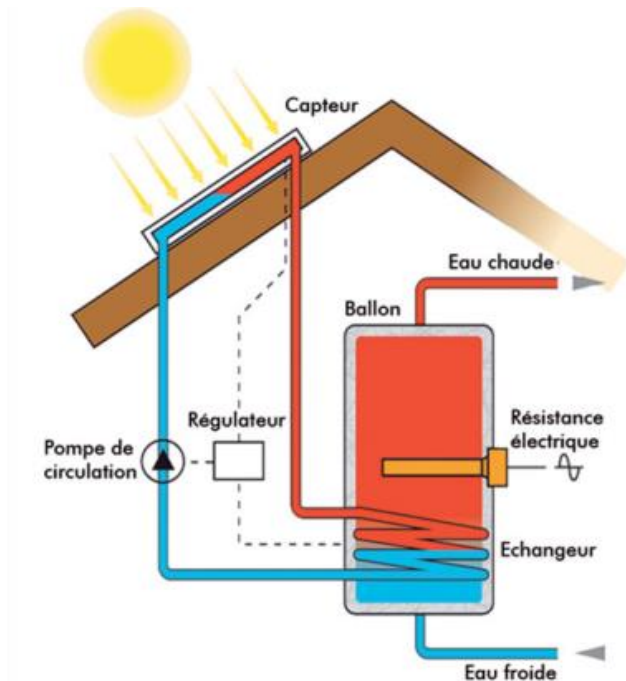
- 1 000 €/HT/m² pour une installation dont la surface de panneaux est inférieure ou égale à 50 m² ;
- 900 €/HT/m² pour une installation dont la surface de panneaux est inférieure ou égale à 100 m² ;
- 800 €/HT/m² pour une installation dont la surface de panneaux est supérieure à 100 m².

Le surcoût pour l'installation de capteurs sous vide à la place de capteurs plans est estimé à +25% par panneau.

Synthèse

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Panneaux solaires thermiques	• Système éprouvé - Retour d'expérience positif en particulier pour les bâtiments dont les besoins en ECS sont importants et constants • Installation maîtrisée par les professionnels	• Investissement important • Le rendement dépend de l'ensoleillement (géographie) • Système complexe qui nécessite d'être bien conçu pour bien fonctionner (régulation, orientation, dimensionnement, accessoires...) • Risque de surchauffe estivale des panneaux • Encombrement du ballon de stockage • Maintenance régulière

Les logements ont des besoins en ECS importants et constants tout au long de l'année permettant d'optimiser les rendements. De ce fait, l'utilisation de panneaux solaires thermiques est à encourager. L'installation sera individuelle.



Exemple d'installations avec capteurs solaires thermiques

● Utilisation de l'énergie solaire – Les panneaux solaires photovoltaïques

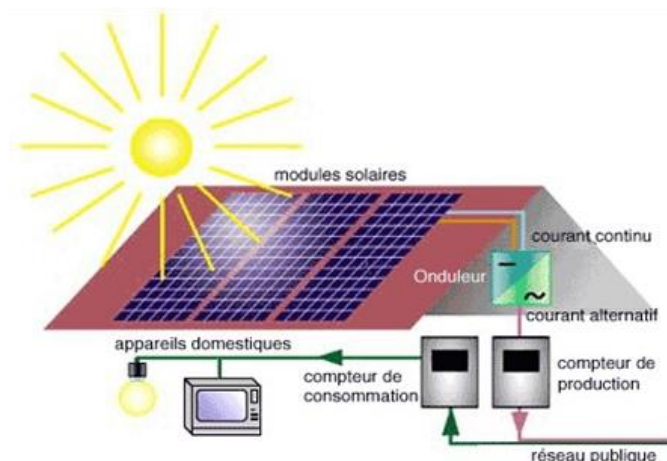
Description

Les panneaux photovoltaïques génèrent de l'électricité grâce à l'énergie solaire. Ces panneaux fonctionnent grâce à des matériaux dits semi-conducteurs comme le silicium. Ces matériaux ont pour objectif d'absorber la lumière du soleil et de la transformer en tension électrique. Cette transformation s'appelle l'effet photovoltaïque. Les photons de la lumière du soleil mettent les électrons (du silicium) en mouvement ce qui génère de l'électricité de manière continue.

Les panneaux photovoltaïques sont reliés à un dispositif électrique comprenant :

- un régulateur : pour contrôler la batterie
- une batterie : pour stocker le courant qui n'est pas utilisé directement
- un onduleur : pour transformer le courant continu généré par les panneaux en courant alternatif
- un compteur : pour mesurer la quantité d'électricité produite.

La taille (surface) et le rendement du panneau déterminent la quantité d'électricité produite. L'endroit (orientation, inclinaison) où sont positionnés les panneaux est déterminant pour optimiser le rendement.



Exemple d'installation avec capteurs photovoltaïques

L'électricité localement produite peut être autoconsommée ou revendue au concessionnaire.

Pour bénéficier d'un tarif de rachat optimal en fonction de la puissance de l'installation, il est plus intéressant d'intégrer les panneaux photovoltaïques aux bâtiments.

Aujourd'hui de nouvelles installations innovantes comme le tracker solaire permettent de suivre le soleil tout au long de la journée pour assurer une production électrique maximale.



Tracker solaire (Strasbourg)

Exemples de luminaires autonomes

Des luminaires équipés de panneaux photovoltaïques permettent l'éclairage de l'espace public. Ces équipements sont autonomes et ne nécessitent pas de raccordement au réseau.

Approche financière

Le coût d'une installation photovoltaïque peut être estimée comme suit en fonction de la puissance :

- Environ 3 500 €HT/kWc pour des systèmes d'une puissance nominale inférieure à 10 kW ;
- Environ 2 500 €HT/kWc pour des systèmes d'une puissance comprise entre 10 et 36 kWc ;
- Environ 2 000 €HT/kWc pour des systèmes d'une puissance supérieure à 36 kWc.

Synthèse

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Panneaux solaires photovoltaïques	• Risques de panne limités • Possibilité de stocker l'énergie dans des batteries pour l'autoconsommation (onéreux) • Possibilité de revendre l'énergie au concessionnaire	• La fabrication des panneaux a un impact négatif sur l'environnement. • Le rendement dépend de l'ensoleillement (orientation, inclinaison du panneau) • Fragile et entretien régulier • Coût

La production d'électricité par l'intermédiaire de panneaux photovoltaïques est une solution tout à fait engageable pour la zone de projet dont le potentiel est intéressant.

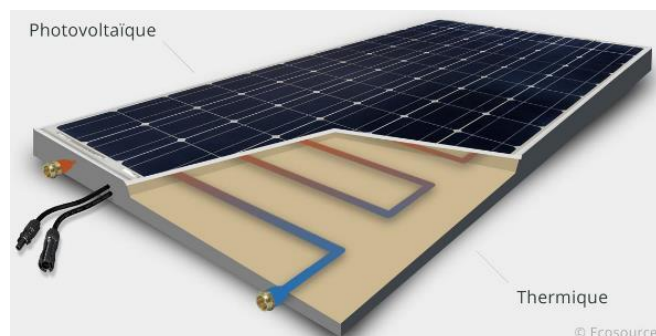
Utilisation de l'énergie solaire – Les panneaux solaires hybrides

Description

Le panneau solaire hybride est un principe 2 en 1 qui mutualise les atouts respectifs du panneau photovoltaïque et du capteur thermique en un seul et même produit apte à tout faire. Ce panneau produit simultanément l'électricité et chauffe l'eau chaude.

Le panneau hybride est constitué d'un module classique de cellules photovoltaïques sur sa face avant et d'un collecteur thermique "flottant" sur sa partie arrière, destiné à récupérer la chaleur générée par le rayonnement solaire. Concrètement, les cellules photovoltaïques font office de capteur thermique traditionnel, et récupèrent suffisamment de chaleur pour les besoins d'eau chaude sanitaire ou de chauffage.

Un panneau photovoltaïque standard ne transforme que 13 à 17% du rayonnement solaire en énergie électrique, le pourcentage restant se traduisant par la génération de chaleur et la surchauffe du panneau réduisant le rendement photovoltaïque. En récupérant cette chaleur, le panneau solaire hybride valorise vraiment l'énergie solaire habituellement perdue. En raison de cette part de rayonnement capté par les cellules, le rendement de la partie thermique du panneau hybride est inférieur à celui d'un capteur plan classique.



Panneaux solaires hybrides – Source : Ecosources

Approche financière

Le surcoût pour l'installation de panneaux solaires hybrides par rapport à des panneaux solaires photovoltaïques est de l'ordre de +25 % par panneau.

Synthèse

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Panneaux solaires hybrides	- Economie d'espace grâce au 2 en 1 - Meilleure performance de la partie photovoltaïque - Coût plus faible que pour 2 systèmes indépendants	- Moins bon rendement pour la partie solaire thermique qu'un panneau solaire thermique simple - Maintenance annuelle - Coût

Comme pour les autres types de panneaux solaires, ce système est également envisageable dans la zone de projet.

L'aérothermie

Description

Le principe de l'aérothermie est d'utiliser les calories naturellement présentes dans l'air.

Afin de pouvoir extraire ces calories de l'air, il est nécessaire de s'équiper d'une Pompe A Chaleur (PAC) soit électrique soit à absorption gaz. Les calories extraites sont restituées à un réseau d'eau chaude qui alimente des radiateurs basse température ou des planchers chauffants.

Les performances de ces PAC, en particulier pour les PAC électriques, sont limitées lors des saisons froides : lorsque les besoins de chauffage sont importants alors que les calories pouvant être extraites de l'air sont minimales.

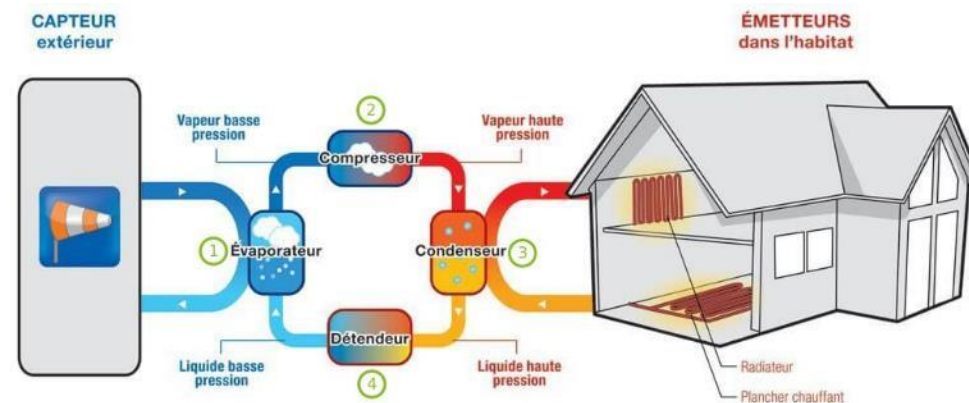
Les PAC peuvent être réversibles permettant le rafraîchissement des locaux en été.

Approche financière

Le coût d'une PAC air/eau est estimé à 2 000 €HT par kW.

Synthèse

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
PAC air/eau	- Système simple - Investissement limité, rentabilité rapide - Idéal avec un plancher chauffant et un système basse température - Refroidissement possible en été (PAC réversible)	- Performance très dépendante de la température extérieure → peut nécessiter un chauffage d'appoint - Performance variable en fonction de la température - Risque de nuisances sonores de l'unité extérieure - Risque de givre de l'évaporateur en hiver - Entretien régulier



Fonctionnement d'une PAC aérothermie

Ce système est envisageable dans la zone de projet. Un appoint sera peut être nécessaire pour assurer le chauffage des bâtiments pendant les périodes les plus froides.

La géothermie – L’aquathermie

Description

La pompe à chaleur eau/eau (PAC) puise la chaleur contenue dans une nappe phréatique ou un cours d’eau (lac, rivière...) et la restitue par un circuit d’eau alimentant un plancher chauffant ou des radiateurs basse température. Elle est constituée de plusieurs boucles :

- tout d’abord les capteurs dans lesquels circule le fluide caloporteur (généralement de l’eau) pour capter les calories. La mise en place des sondes géothermiques nécessite un forage ;
- la PAC concentre les calories récupérées dans l’eau et transmet la chaleur à un circuit d’eau raccordé aux émetteurs (généralement basse température).

Cette PAC peut aussi être raccordée au circuit d’ECS.

Deux forages sont nécessaires : un pour prélever l’eau et un second pour la réinjecter. La température de rejet doit être limitée afin d’éviter l’impact sur la nappe.

Les PAC peuvent être réversibles pour assurer le rafraîchissement des locaux.

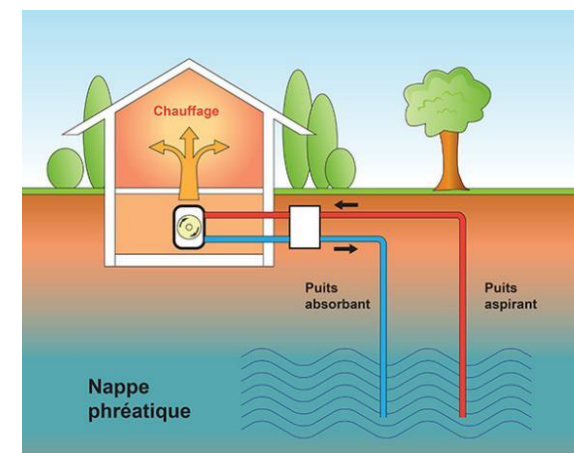
Il est également possible de rafraîchir les locaux sans mettre en fonctionnement la PAC. C’est l’eau de la nappe qui transmet sa fraîcheur, au travers d’un échangeur, à l’eau circulant dans les émetteurs situés dans les locaux. Ce rafraîchissement est ainsi obtenu avec une consommation d’énergie électrique minimale puisque limitée aux seules pompes de circulation de l’eau. Il s’agit d’un rafraîchissement passif (géocooling).

Approche financière

Le coût d’une PAC eau/eau est estimé à 3 000 €HT par kW auquel s’ajoute le coût des forages évalués entre 100 et 200 €HT/ml.

Synthèse

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
PAC eau/eau	• Rendement constant car la température de l’eau est constante tout au long de l’année • Fonctionne en mode chauffage et rafraîchissement • Possibilité de raccorder le circuit ECS • Les PAC eau/eau sont éligibles au crédit d’impôt et à la TVA à taux réduit. • Fonctionnement silencieux • Refroidissement possible en été (PAC réversible) • Possibilité de faire du freecooling	• Onéreux : plusieurs forages sont nécessaires : l’un sert au captage, l’autre permet de rejeter l’eau dans son milieu • Intervenir sur les sous-sols est réglementé et nécessite des démarches administratives. • Prérequis : il faut avoir une nappe ou un cours d’eau à proximité et avec un débit suffisant • Si la nappe est trop profonde (>100m), la consommation électrique de la pompe réduit l’intérêt de recourir à une PAC. • Nécessite un entretien régulier • Ne convient pas aux émetteurs à haute température



Système de PAC eau/eau

Au vu des caractéristiques des sols, cette solution semble tout à fait envisageable.

La géothermie sur sondes sèches

Description

Il existe deux types d'installation :

- les PAC sol/eau ;
- les PAC sol/sol.

La PAC sol/eau puise la chaleur stockée dans la terre et la restitue par un circuit d'eau alimentant un plancher chauffant ou des radiateurs basse température. Elle est constituée de plusieurs boucles

- tout d'abord les capteurs dans lesquels circule le fluide caloporteur (généralement de l'eau) pour capter les calories. La mise en place des sondes géothermiques nécessite un forage. On distingue deux types de capteurs :
 - les capteurs horizontaux qui recouvrent une grande surface à une faible profondeur (0,6 à 1,2m). Le réseau doit au moins être égal à 1,5 fois la surface à chauffer ;
 - les capteurs verticaux qui recouvrent une très faible surface à une grande profondeur (<100m). Ils sont plus chers mais aussi plus performants que les capteurs horizontaux.
- puis la PAC concentre les calories récupérées dans l'eau et transmet la chaleur à un circuit d'eau raccordé aux émetteurs (généralement basse température).

Cette PAC peut aussi être raccordée au circuit d'ECS.

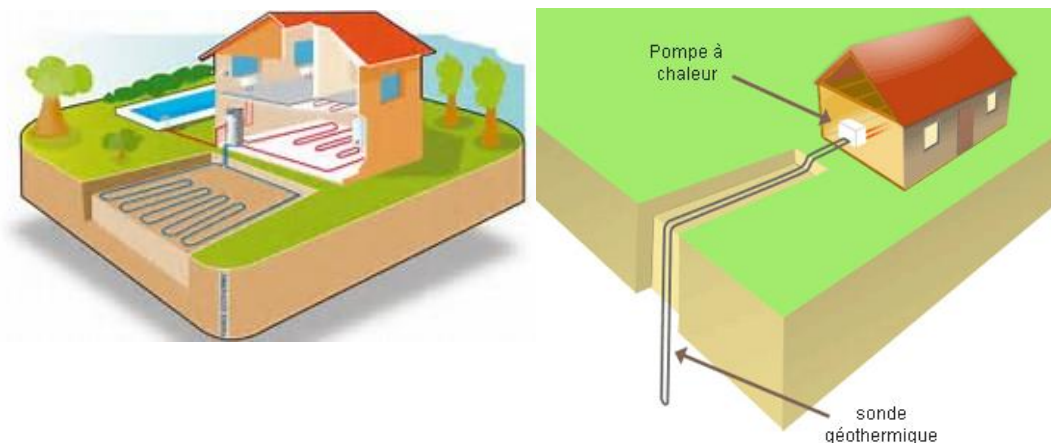
Comme pour l'aquathermie, les PAC géothermiques sur sondes sèches peuvent être réversibles pour assurer le rafraîchissement des locaux. Un rafraîchissement passif (géocooling) est également possible.

La PAC sol/sol est dite à détente directe. En effet, contrairement aux PAC sol/eau, le fluide frigorigène se déplace directement dans les capteurs géothermiques. Ce système est délicat car il ne supporte pas les fuites de fluide frigorigène.

Cette PAC peut aussi être raccordée au circuit d'ECS.

Approche financière

Le coût d'une PAC eau/eau sur sondes sèches est identique au coût d'une PAC aquathermique. Les forages sont en revanche beaucoup plus profonds dans le cas des PAC sur sondes sèches augmentant le coût d'installation pour cette solution.



Captage horizontal

Captage vertical

Synthèse

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
PAC sol/eau	- Rendement constant car la température du sol est constante tout au long de l'année - Fonctionne en mode chauffage et rafraîchissement - Possibilité de raccorder le circuit ECS - Les PAC sol/eau sont éligibles au crédit d'impôt et à la TVA à taux réduit. - Fonctionnement silencieux - Possibilité de géocooling	- Onéreux - Intervenir sur les sous-sols est réglementé et nécessite des démarches administratives. - Nécessite un entretien régulier
PAC sol/sol	- Rendement constant car la température du sol est constante tout au long de l'année - Possibilité de raccorder le circuit ECS - Fonctionne en mode chauffage et rafraîchissement - Les PAC sol/eau sont éligibles au crédit d'impôt et à la TVA à taux réduit. - Fonctionnement silencieux	- Le risque de fuite du fluide frigorigène est élevé et a un impact environnemental élevé - Quantité de fluide frigorigène importante (10kg en moyenne) - Onéreux - Intervenir sur les sous-sols est réglementé et nécessite des démarches administratives. - Nécessite un entretien régulier - Système peu adapté au rafraîchissement - Capteurs verticaux impossible, donc nécessite une grande surface de terrain pour les capteurs horizontaux

Les systèmes avec capteurs horizontaux sont possibles pour les maisons individuelles mais ils nécessitent une surface très importante.

La mise en place de PAC avec capteurs horizontaux est tout à fait possible mais des études de sol complémentaires seront à réaliser pour s'assurer de la faisabilité.

Le bois énergie

Description

Dans les chaudières (à granulés ou plaquettes...), le combustible est brûlé pour produire de la chaleur. Cette chaleur est ensuite transmise à un fluide caloporteur (de l'eau le plus souvent) qui alimente un circuit de chauffage auquel peut s'ajouter un ballon d'eau chaude pour la production d'ECS.

On nomme chaufferie bois énergie un local ou un bâtiment abritant une ou plusieurs chaudières bois reliées à un silo de stockage du combustible bois. Le combustible est ainsi automatiquement transporté jusqu'au foyer de la (ou des) chaudière(s) selon les besoins.

Le dimensionnement du silo dépend de la puissance et du nombre de chaudière. Il peut être enterré ou aérien.

La fumée est évacuée par un conduit adapté.

La gestion des cendres est une véritable problématique des chaufferies biomasse car :

- lorsque la poubelle de cendres pour chaque chaudière est pleine, il faut évacuer cette poubelle sans pour autant stopper la chaudière ;
- il faut choisir un stockage qui résiste à la chaleur ;
- il faut trouver un usage aux cendres ou une filière d'évacuation car le taux de cendre des plaquettes forestières est compris entre 2 et 3%.

Néanmoins, il existe aujourd'hui un système automatisé de conditionnement des cendres sous forme de big-bag pouvant immédiatement être enlevé en transpalette pour une valorisation agricole.

L'avantage de cette solution est que les cendres ainsi conditionnées peuvent être vendues à des coopératives agricoles locales, ce qui permet de financer une partie du combustible.

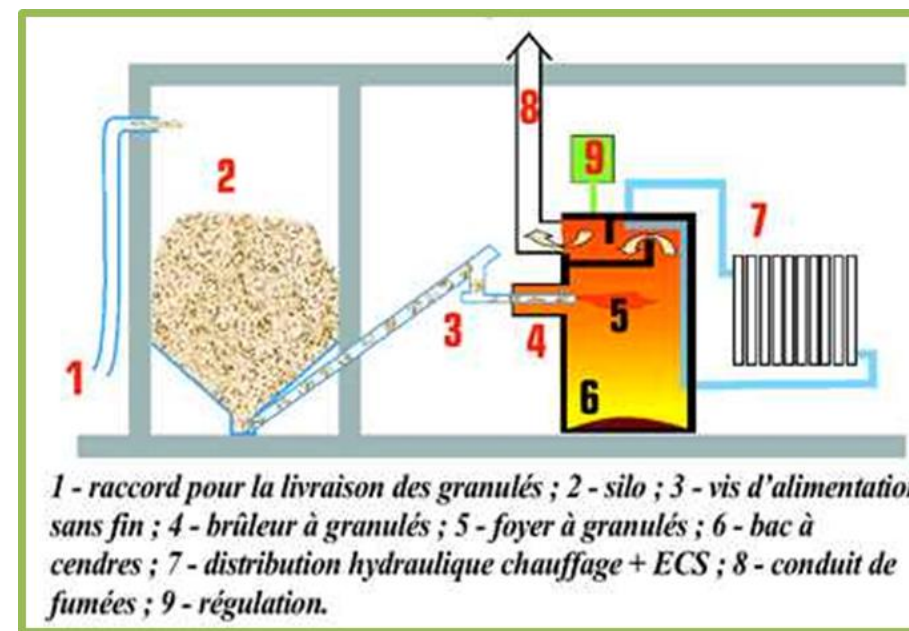
Les chaudières bois sont généralement associées à un autre mode de production de chauffage pour limiter les coûts d'installation et assurer le meilleur rendement possible.

Effectivement, pour un rendement optimal, la chaudière bois doit fonctionner le plus longtemps possible à pleine charge ce qui correspond généralement à 30% de la puissance maximale de chauffage.

Approche financière

L'estimation du coût d'une chaufferie bois varie entre 700 et 900 €HT/kW (hors gros œuvre).

Les coûts de maintenance restent plus élevés qu'une chaufferie au gaz par exemple car les interventions sont plus nombreuses (changement de filtres par exemple).



Fonctionnement d'une chaudière à granulés

Synthèse

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Bois énergie	• Moderne avec une utilisation complètement automatisable • Ecologique : c'est un combustible naturel, peu polluant, avec un bilan CO₂ vierge par replantation • Propre : les systèmes de filtration moderne garantissent une très faible émission de polluants et les cendres de bois sains peuvent être valorisées en agriculture comme engrais • Social : il favorise l'enrichissement du patrimoine forestier et l'entretien des espaces ruraux et il est générateur d'emplois locaux • Durable : sa consommation raisonnée n'entame pas le patrimoine des générations futures, la durée de reconstitution du bois est de loin la plus rapide par rapport aux autres combustibles • Local : le bois provient des forêts régionales, dynamisant par conséquent directement les acteurs locaux (forestiers, entrepreneurs et transporteurs) ainsi, les dépenses de chauffage des usagers sont réinjectées dans l'économie locale • Compétitif : le bois fait actuellement partie des combustibles les moins chers du marché et la proximité de l'approvisionnement permet de limiter les risques d'inflation liés aux crises internationales	• Coût d'installation • Nécessite un approvisionnement régulier • Nécessite un silo • Maintenance régulière (pour les cendres et les filtres notamment) • Nécessite une deuxième production (avec une autre énergie)

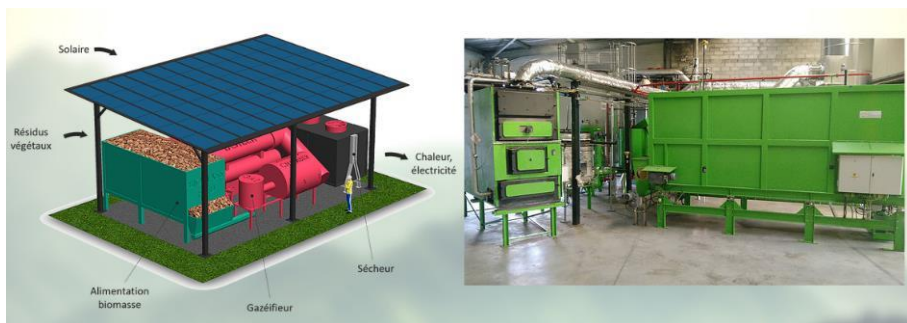
Dans le cadre de la zone de projet, le bois-énergie est une ressource en énergie renouvelable qui serait très facilement exploitable pour la production de chaleur soit en production individuelle soit en production centralisée.

La biomasse

Description

La biomasse peut assurer la production de chauffage et d'électricité. Il s'agit d'un secteur en plein développement offrant de nouvelles technologies intéressantes comme les Mini Centrales Vertes (MCV).

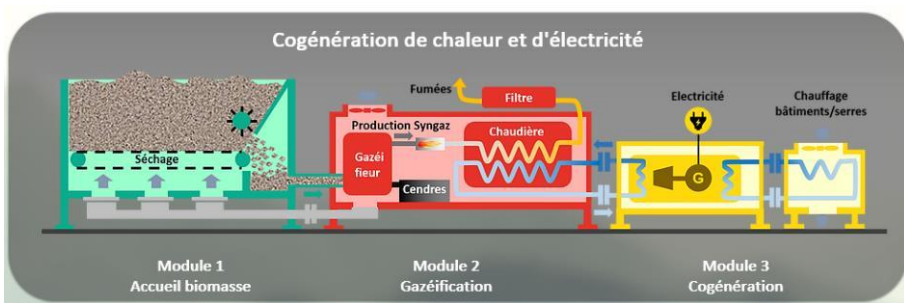
L'objectif de ces MCV est de réaliser à l'échelle locale et à partir de ressources locales, de l'électricité, de la chaleur, du froid ou des combustibles verts.



Mini Centrale Vert

Ces centrales reposent sur un procédé de pyro-gazéification avec combustion étagée.

La chaleur générée est récupérée à travers une chaudière et peut être ensuite utilisée pour des applications en chaleur pure ou être convertie en électricité avec l'installation d'une cogénération par exemple.



Exemple de production de chaleur et d'électricité

Synthèse

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Biomasse	- Système innovant - Permet de produire de l'électricité et du chauffage - Fonctionne avec une grande variété de biomasse - Permet la valorisation énergétique (déchets verts)	- Selon le type de biomasse utilisée et la taille de la centrale, une déclaration ou un enregistrement de l'installation peuvent être nécessaires - Cout d'installation - Entretien régulier - Nécessite une emprise au sol importante

Dans le cadre de la zone de projet, et comme pour le bois-énergie, la biomasse est une ressource en énergie renouvelable qui pourrait être exploitable pour la production de chaleur dans le cadre d'une installation collective.

La récupération des eaux grises

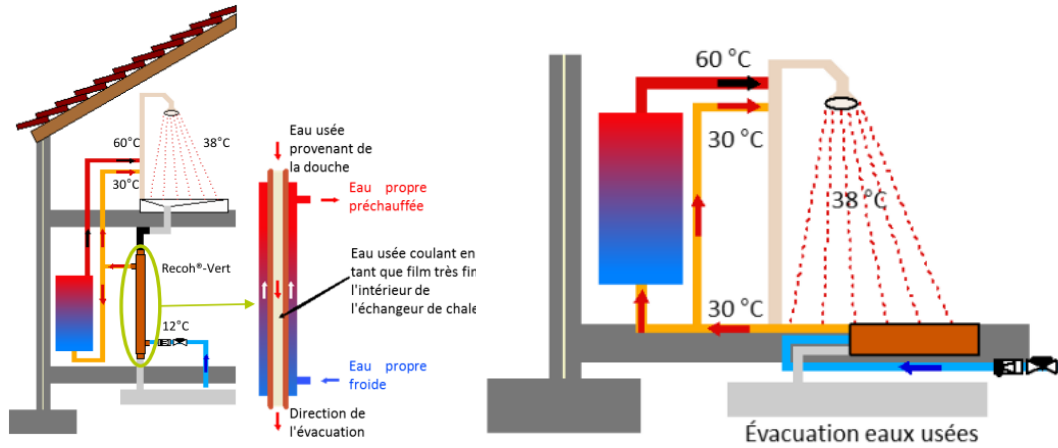
Il existe plusieurs systèmes permettant de récupérer les calories des eaux grises des douches.

Description

Le premier système est un récupérateur vertical. Ce système instantané permet de préchauffer l'eau froide destinée à la douche et au générateur d'ECS.

L'eau usée de la douche descend à l'intérieur de l'échangeur et chauffe le tube d'évacuation. L'eau froide du réseau monte en spirale autour de ce tube et est préchauffée.

Le second système est un récupérateur horizontal qui s'incorpore directement dans les dalles. Les eaux chaudes de la douche sont évacuées dans le récupérateur. Dans le même temps, l'eau froide destinée à la douche passe en contre sens à l'extérieur du tube d'évacuation, devenu chaud. L'eau froide est alors préchauffée et renvoyée soit à la douche soit au générateur d'ECS.



Système vertical – Source : Rech-Vert

Système horizontal (source : ReQup-Floor)

Synthèse

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Récupérateur sur eaux grises	- Pas ou peu de maintenance - Gain d'énergie	- Nécessite que la douche soit à l'étage pour les maisons individuelles (uniquement pour le système vertical) - Léger surcoût à l'installation

La récupération sur eaux grises est simple à mettre en œuvre et efficace.

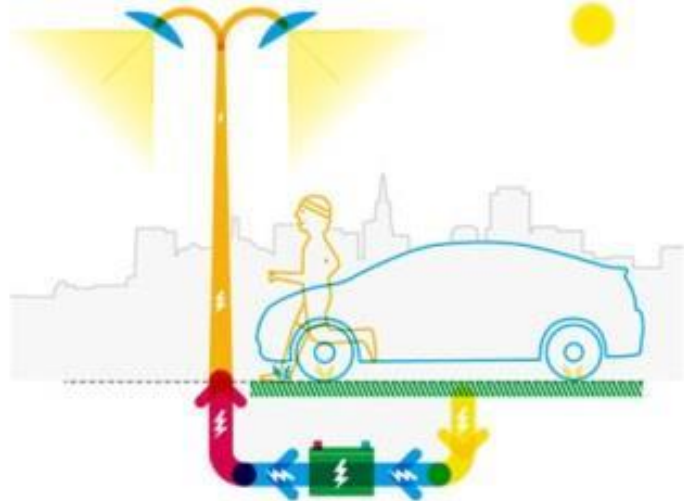
La route piézoélectrique

Description

Ce type de dispositif est une route avec générateurs piézoélectriques intégrés qui transforment une partie de l'énergie utilisée pour déformer l'asphalte en énergie électrique. Elle peut renvoyer l'électricité produite dans le réseau électrique ou bien alimenter directement les besoins locaux comme l'éclairage public.

Les capteurs sont disposés de façon qu'ils puissent capter le plus d'énergie mécanique possible c'est-à-dire en parallèle afin d'obtenir une tension maximale plus élevée.

La contrainte mécanique que la pression exerce sur un matériau piézoélectrique génère des charges électriques. L'énergie électrique engendrée est stockée dans des batteries.



Fonctionnement d'une route piézoélectrique – Source : Innowattech

Synthèse

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Route piézoélectrique	Faible entretien	- Nécessite un réseau routier avec fréquence de passage de 600 véhicules par jour - Rendement variant selon les heures de passage - Durée de vie - Coût

Le trafic routier ne permettra pas de valider la rentabilité du projet.

La gestion de la ressource en eau

Description

La récupération d'eau de pluie consiste en un système de collecte et de stockage de l'eau pluviale dans la perspective d'une utilisation ultérieure.

La qualité et la performance de la récupération dépend notamment :

- du type de toit (toit plat à gravier = 60% de récupération - toit végétal = moins de 25% de récupération et entretien des filtres fréquents) ;
- des filtres ;
- du type de citerne : souple, synthétique ou béton ;
- du type de pompe : centrifuge, immergée... ;
- du matériau de la cuve : une cuve béton permet de rétablir un PH non corrosif pour les canalisations.

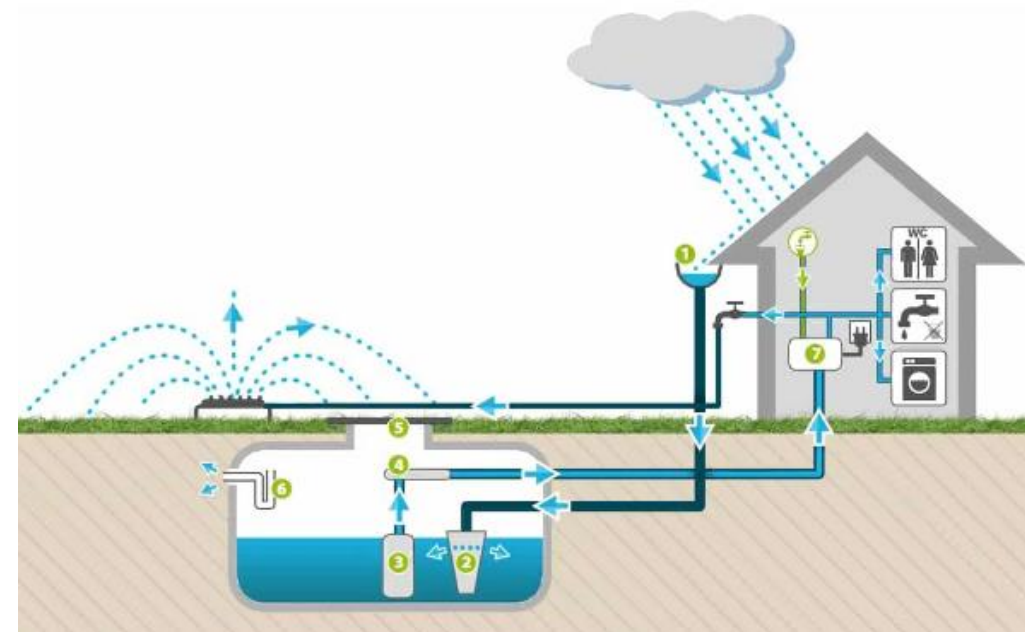
Actuellement, en France, la récupération d'eau de pluie ne peut se faire que pour des utilisations non comestibles :

- arrosage des plantes, pelouses (principalement l'été en période de restriction d'eau), lavage voiture, mise à niveau de la piscine ;
- alimentation des toilettes ou de la machine à laver (dont les eaux grises pourront éventuellement être épurées par lagunage naturel ou marais filtrant) ;
- nettoyages divers (sols, extérieur...).



Synthèse

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Récupération d'eau pluviale	• Réduction des consommations en eau potable • Réduit la saturation des eaux d'évacuation en période de pluie	• Entretien fréquent des filtres • Réalisation d'une double alimentation sur une partie du réseau



Source : Tendance travaux

La récupération d'eau pluviale est une technique facile à mettre en place.



© parenthesesURBaineS – 2022

VI – Production centralisée

● Production centralisée

D'après le « Guide de création d'un réseau de chaleur – AMORCE/ADEME », la mise en place d'un réseau de chaleur présente de nombreux atouts par rapport aux solutions de chauffage individuel, quelles qu'elles soient, et par rapport aux solutions basées sur l'électricité ou les énergies fossiles dans leur ensemble. Ces avantages peuvent être d'ordre :

• Technique :

- Une mutualisation des moyens de production qui contribue à la sécurisation de l'approvisionnement en chaleur des usagers ;
- Une souplesse d'adaptation du réseau de chaleur à des sources d'énergie variées, qui contribue elle aussi à la sécurisation de l'approvisionnement ;
- L'absence de chaufferie à l'échelle de chaque bâtiment (pas d'impact visuel de cheminée, réduction des risques d'incendie, réduction du bruit, gaine de place...).

• Energétique :

- Une meilleure efficacité énergétique, grâce à la mutualisation des moyens de production (matériels plus performants, maintenance plus efficace) ;
- Des sources d'approvisionnement qui peuvent s'adapter à l'évolution du contexte énergétique local (mise en place de filière bois locale par exemple) ;
- Une possibilité de stockage de l'énergie de façon souple à un coût compétitif.

• Social :

- Une base pérenne pour créer des filières locales et des emplois non délocalisables.

• Environnemental :

- Une meilleure performance environnementale du fait du recours à des énergies décarbonées ;
- Des niveaux d'émission de polluants nettement inférieurs grâce à la mutualisation des installations de combustion (meilleur suivi de la qualité de la combustion, présence de systèmes performants de traitement des fumées), contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité de l'air et du bilan de gaz à effet de serre du territoire.

• Economique :

- Une performance économique (mutualisation des investissements, amélioration du rendement énergétique global, stabilité dans le temps = maîtrise des coûts, meilleur coût de l'énergie, et diminution de la facture énergétique des bâtiments) ;
- Une économie à la construction de bâtiments neufs pour les réseaux de chaleur vertueux à fort contenu ENR (facilitation du respect des réglementations thermiques et des labels environnementaux) ;
- Le réseau de chaleur est aussi un outil de développement de l'économie locale qui comparativement à une solution gaz par exemple, emploie des ressources énergétiques et une main d'œuvre principalement locales.

Les chapitres précédents ont montré que plusieurs énergies renouvelables peuvent être développées dans la zone d'aménagement.

Une production centralisée prendrait la forme d'un pôle énergétique unique pour le site. Cela pourrait être une production par chaufferie centrale biomasse (bois ou autres etc...).

La chaleur produite serait ensuite distribuée dans toute la zone sous forme d'un réseau de chaleur. Les pertes thermiques du réseau de chaleur ne doivent pas devenir prépondérantes par rapport à la consommation des bâtiments. Effectivement, les bâtiments construits selon la RE 2020 seront de faibles consommateurs d'énergie : il faudra donc de bonnes performances thermiques du réseau de chaleur.

Pour connaître la faisabilité de l'installation d'un réseau de chaleur, il existe un bon indicateur : la densité thermique. Il s'agit du rapport entre la quantité de chaleur (consommations en chauffage et en ECS) en [kWh] et la longueur du réseau primaire (longueur de tranchée) en [m].

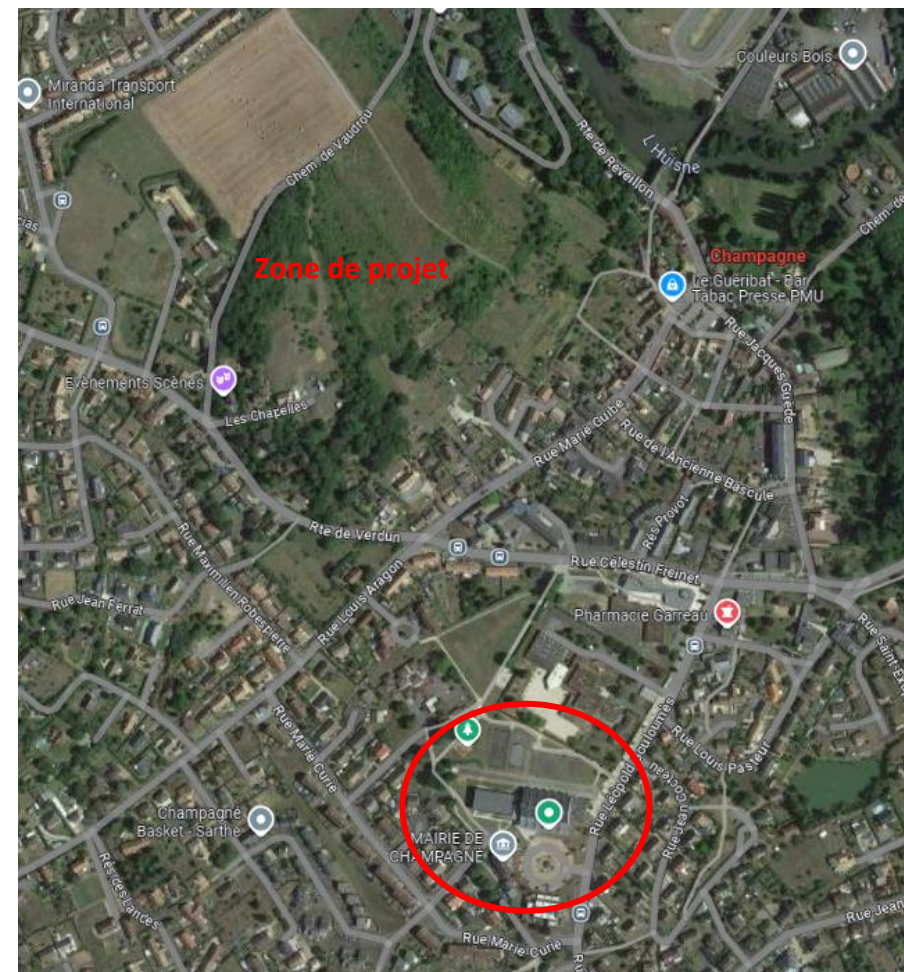
En supposant que la chaufferie soit installée dans la zone correspondant à la tranche 1, la longueur de la tranchée pour alimenter toutes les constructions serait d'environ 1 500 mètres.

La densité thermique sera donc d'environ **0,9 [MWh/m.an]**.

En moyenne, la densité thermique des réseaux existants est de 8 [MWh/m.an] mais elle est comprise entre 3 et 6 pour les réseaux récents. La densité thermique obtenue est inférieure au seuil critique de 1,5 et montre que cette solution n'est pas viable économiquement pour le présent projet.

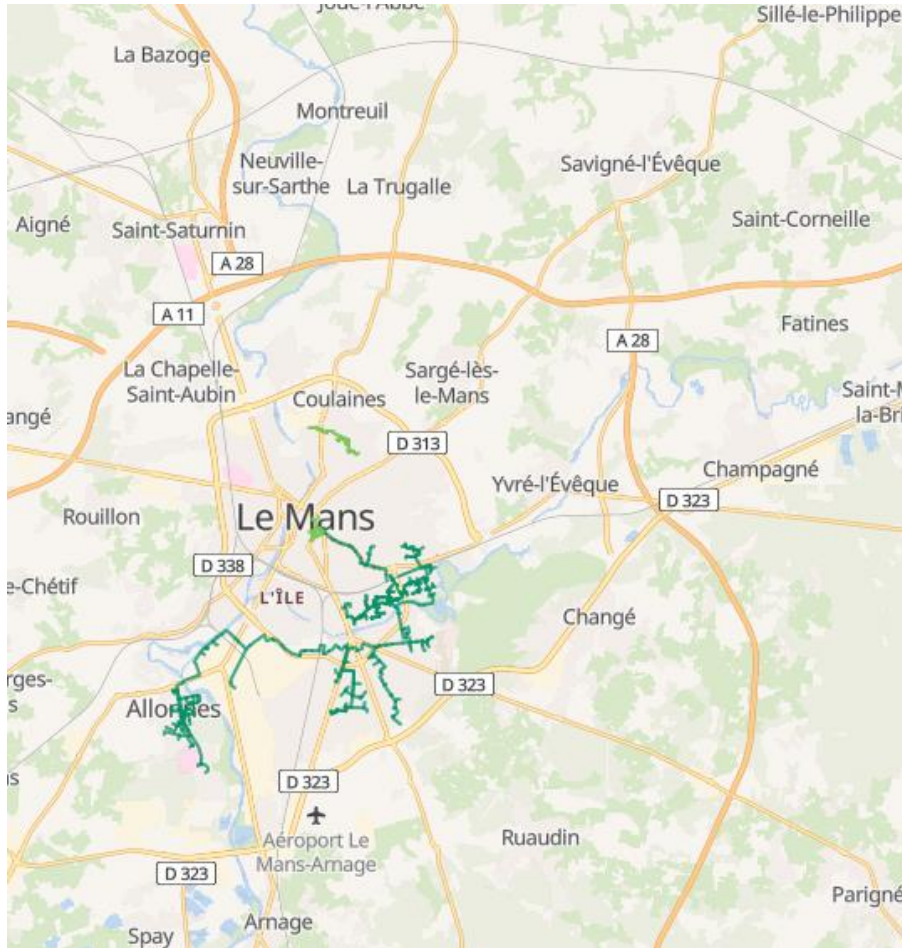
En revanche, si une chaufferie centralisée n'est pas forcément pertinente à l'échelle du projet, il pourrait être envisager de créer un réseau de chaleur pour alimenter d'autres bâtiments et ainsi augmenter la densité thermique et donc la viabilité économique du projet.

La carte ci-dessous montre que des équipements communaux (mairie, gymnase...) se situent à environ 500 mètres de la zone de projet.



Source : Google Maps

Il n'y a pas non plus de réseau de chaleur existant à proximité de la zone de projet.



Source : Via Sava

Les éléments indiqués précédemment montrent que la mise en place d'un réseau de chaleur présente de nombreux atouts mais que cette solution ne peut être envisagée pour la zone de projet du fait de la faible densité thermique. En revanche, une étude plus globale avec raccordement de bâtiments existants pourrait être menée pour valider la pertinence de la mise en place d'un réseau de chaleur à l'échelle de la commune.



© parenthesesURBaineS – 2022

VII – Synthèse des technologies

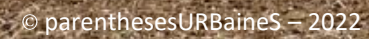
Synthèse des technologies

Pour le recours aux énergies renouvelables dans le cadre de l'aménagement d'un nouveau quartier d'habitations à Uckange, les choix restent relativement ouverts.

Le tableau ci-dessous présente la synthèse des énergies renouvelables pouvant être exploitées sur le site :

Il est également important de ne pas focaliser sur les temps de retour sur investissement de telles installations. Aujourd'hui, les prix des énergies fossiles ne sont plus maîtrisés et les temps de retour affichés aujourd'hui ne seront certainement pas les mêmes demain.

RESSOURCE	POTENTIEL DE LA RESSOURCE	ECHELLE DE LA RESSOURCE	NECESSITE D'UN RESEAU DE CHALEUR	PERTINENCE POUR LE PROJET
Eolien	Faible	Bâtiment	Non	Faible
Solaire – Panneaux solaires thermiques	Fort	Bâtiment	Non	Forte
Solaire – Panneaux solaires photovoltaïques	Fort	Quartier/Bâtiment	Non	Forte
Solaire – Panneaux solaires hybrides	Fort	Bâtiment	Non	Forte
Aérothermie – PAC air/eau	Fort	Bâtiment	Non	Forte
Aquathermie – PAC eau/eau	Fort	Bâtiment	Non	Forte
Géothermie – PAC sol/eau avec capteurs horizontaux	Fort	Bâtiment	Non	Moyenne
Géothermie – PAC sol/eau avec capteurs verticaux	Fort	Bâtiment	Non	Forte
Géothermie – PAC sol/sol	Fort	Bâtiment	Non	Forte
Bois énergie	Moyen	Quartier/Bâtiment	Oui	Forte
Biomasse	Moyen	Quartier/Bâtiment	Oui	Forte
Méthanisation	Faible	Quartier	Oui	Faible
Récupération d'eaux grises sur les douches	Fort	Bâtiment	Non	Forte
Route piézoélectrique	Faible	Quartier	Oui	Faible
Gestion de la ressource – Eaux pluviales	Fort	Quartier/Bâtiment	Non	Forte
Réseau de chaleur existant	Inexistant			48



VIII – Scénarii envisagés

Scénarii envisagés

Au regard des besoins du site et de l'analyse du potentiel en énergies renouvelables, les scénarios d'approvisionnement suivant pourraient être envisagés :

❖ Scénario 1 (scénario de référence) :

- Production de chaleur et d'ECS par **PAC air/eau (aérothermie) individuelle** ;
- *Variante 1 : une partie des besoins en électricité est assurée par des panneaux solaires photovoltaïques ;*
- *Variante 2 : une partie des besoins en ECS est assurée par des panneaux solaires thermiques .*

❖ Scénario 2 :

- Production de chaleur par **chaudière bois/biomasse individuelle** ;
- Production d'ECS par **PAC air/eau (aérothermie) individuelle** ;
- *Variante 1 : une partie des besoins en électricité est assurée par des panneaux solaires photovoltaïques ;*
- *Variante 2 : une partie des besoins en ECS est assurée par des panneaux solaires thermiques .*

❖ Scénario 3 :

- Production de chaleur et d'ECS par **PAC sur sondes géothermiques individuelle** ;
- *Variante 1 : une partie des besoins en électricité est assurée par des panneaux solaires photovoltaïques ;*
- *Variante 2 : une partie des besoins en ECS est assurée par des panneaux solaires thermiques .*

Dans les tableaux de synthèse ci-après, les hypothèses et les calculs pris en compte sont les suivants :

- Les productions des panneaux photovoltaïques et des panneaux solaires thermiques ont été calculées à l'aide des logiciels TECSOL ([Calculs - Tecsol - Numérique & Energie Solaire](#)) en considérant que l'orientation et l'inclinaison des panneaux sont optimales.
- Il a été considéré un taux d'inflation annuel de 2% pour le bois et de 6% pour l'électricité.
- Les coûts des travaux sont issus de nos retours d'expérience et de nos bases de données confidentielles.
- Les coûts des énergies pris en compte à date de novembre 2024, sont de 0,2176 €HT par kWh électrique et de 0,0442 €HT par kWh bois.

Scénario 1 – Bilan d'exploitation

		Scénario 1 PAC air/eau Electricité	Scénario 1 bis PAC air/eau + Photovoltaïque (environ 500 panneaux) Electricité	Scénario 1 ter PAC air/eau + Panneaux solaires thermiques (2 panneaux par logement) Electricité
ENERGIE	Consommation totale [kWh]	1 140 964 [kWh élec]	985 964 [kWh élec]	1 130 964 [kWh élec]
	Coût annuel par énergie (hors abonnement) [€ HT]	248 274	214 546	246 098
	TOTAL ENERGIE	248 274 [€HT/an]	214 546 [€HT/an]	246 098 [€HT/an]
INVESTISSEMENT	Estimation du coût initial des travaux (hors subventions)	1 389 000 [€HT]	1 589 000 [€HT]	1 721 000 [€HT]
	TOTAL INVESTISSEMENT	1 389 000 [€HT]	1 589 000 [€HT]	1 721 000 [€HT]
COÛT GLOBAL	SUR 5 ANS	2 872 511 [€HT]	2 870 976 [€HT]	3 191 508 [€HT]
	SUR 10 ANS	4 857 783 [€HT]	4 586 548 [€HT]	5 159 380 [€HT]
	SUR 15 ANS	7 514 536 [€HT]	6 882 382 [€HT]	7 792 849 [€HT]
	SUR 20 ANS	11 069 867 [€HT]	9 954 721 [€HT]	11 317 019 [€HT]

Dans le scénario 1, la variante avec l'installation de panneaux solaires photovoltaïques et donc la production d'électricité permet de limiter les consommations d'énergie. Même si les coûts d'installation sont un peu plus importants, le coût global sur 20 ans montre que cette solution est la plus intéressante.

Scénario 1 – Emission CO2

		Scénario 1 PAC air/eau Electricité	Scénario 1 bis PAC air/eau + Photovoltaïque (environ 500 panneaux) Electricité	Scénario 1 ter PAC air/eau + Panneaux solaires thermiques (2) Electricité
CO2	Energie finale [kWh]	1 140 964	985 964	1 130 964
	Facteurs en équivalent CO2 [kg eq CO2 / kWhEF]	0,045	0,045	0,045
	Emissions en équivalent CO2 par poste [kg eq CO2]	51 343	44 368	50 893
	Emissions annuelles totales en équivalent CO2	51 343 [kg eq CO2]	44 368 [kg eq CO2]	50 893 [kg eq CO2]

La variante avec l'installation de panneaux solaires photovoltaïques permet de limiter les consommations d'énergie et de ce fait de limiter les émissions de CO2.

Scénario 2 – Bilan d'exploitation

		Scénario 2 Biomasse + PAC pour ECS			Scénario 2 bis Biomasse + PAC pour ECS + Photovoltaïque (environ 500 panneaux)			Scénario 2 ter Biomasse + PAC pour ECS + Panneaux solaires thermiques (2 panneaux par logement)		
		Bois		Elec	Bois		Elec	Bois		Elec
ENERGIE	Consommation totale [kWh]	694 500		775 856	694 500		620 856	694 500		675 856
	Coût annuel par énergie (hors abonnement) [€ HT]	30 697		168 826	30 697		135 098	30 697		137 606
	TOTAL ENERGIE	199 523 [€HT/an]			165 795 [€HT/an]			168 303 [€HT/an]		
INVESTISSEMENT	Estimation du coût initial des travaux (hors subventions)	1 574 200 [€HT]			1 774 200 [€HT]			1 906 200 [€HT]		
	TOTAL INVESTISSEMENT	1 574 200 [€HT]			1 774 200 [€HT]			1 906 200 [€HT]		
COÛT GLOBAL	SUR 5 ANS	2 766 410 [€HT]			2 764 875 [€HT]			2 911 862 [€HT]		
	SUR 10 ANS	4 361 857 [€HT]			4 090 623 [€HT]			4 257 664 [€HT]		
	SUR 15 ANS	6 496 934 [€HT]			5 864 780 [€HT]			6 058 658 [€HT]		
	SUR 20 ANS	9 354 145 [€HT]			8 238 999 [€HT]			8 468 792 [€HT]		

Dans le scénario 2, c'est également la variante avec l'installation de panneaux solaires photovoltaïques qui est la plus intéressante en coût global.

Par rapport au scénario 1 (scénario de référence), l'utilisation de la biomasse permet de limiter encore plus le coût des consommations. Même si les coûts d'installation sont plus importants que dans le scénario 1, le coût global montre que cette solution est plus intéressante sur 20 ans que le scénario 1.

Toutefois, il est intéressant de noter que les consommations sont plus importantes qu'avec une solution PAC qui permet avec des rendements élevés de moins consommer.

		Scénario 2			Scénario 2 bis			Scénario 2 ter		
		Biomasse + PAC pour ECS			Biomasse + PAC pour ECS + Photovoltaïque (environ 500 panneaux)			Biomasse + PAC pour ECS + Panneaux solaires thermiques (2 panneaux par logement)		
		Bois	Gaz	Elec	Bois	Gaz	Elec	Bois	Gaz	Elec
CO2	Energie finale [kWh]	694 500		775 856	694 500		620 856	694 500		675 856
	Facteurs en équivalent CO2 [kg eq CO2 / kWhEF]	0,027		0,045	0,027		0,045	0,027		0,045
	Emissions en équivalent CO2 par poste [kg eq CO2]	18 752		34 914	18 752		27 939	18 752		30 414
	Emissions annuelles totales en équivalent CO2	53 665 [kg eq CO2]			46 690 [kg eq CO2]			49 165 [kg eq CO2]		

Par rapport au scénario 1, comme la solution bois/biomasse consomme plus, la limitation des émissions de CO2 est légèrement supérieure (environ +5,5%) avec la variante prenant en compte des panneaux photovoltaïques.

Scénario 3 – Bilan d'exploitation

		Scénario 3	Scénario 3 bis	Scénario 3 ter
		PAC géothermique	PAC géothermique + Photovoltaïque (environ 500 panneaux)	PAC géothermique + Panneaux solaires thermiques (2 panneaux par logement)
		Electricité	Electricité	Electricité
ENERGIE	Consommation totale [kWh]	1 038 278 [kWh élec]	883 278 [kWh élec]	938 278 [kWh élec]
	Coût annuel par énergie (hors abonnement) [€ HT]	225 929	192 201	204 169
	TOTAL ENERGIE	225 929 [€HT/an]	192 201 [€HT/an]	204 169 [€HT/an]
INVESTISS	Estimation du coût initial des travaux (hors subventions)	2 222 400 [€HT]	2 422 400 [€HT]	2 554 400 [€HT]
	TOTAL INVESTISSEMENT	2 222 400 [€HT]	2 422 400 [€HT]	2 554 400 [€HT]
COÛT GLOBAL	SUR 5 ANS	3 572 395 [€HT]	3 570 860 [€HT]	3 774 372 [€HT]
	SUR 10 ANS	5 378 992 [€HT]	5 107 758 [€HT]	5 406 970 [€HT]
	SUR 15 ANS	7 796 638 [€HT]	7 164 484 [€HT]	7 591 764 [€HT]
	SUR 20 ANS	11 031 989 [€HT]	9 916 843 [€HT]	10 515 508 [€HT]

Dans le scénario 3, c'est toujours la variante avec l'installation de panneaux solaires photovoltaïques qui est la plus intéressante en coût global.

Par rapport au scénario 1 (scénario de référence), les PAC sur sondes géothermiques sont plus performantes que les PAC air/eau et permettent donc de limiter les coûts de consommation. En revanche, les coûts d'installation plus importants notamment dus aux coûts des forages ne permettent pas au scénario 3 d'être plus performant que le scénario 1 en coût global.

● Scénario 3 – Emission CO₂

		Scénario 3 PAC géothermique	Scénario 3 bis PAC géothermique + Photovoltaïque (4 000 m²)	Scénario 3 ter PAC géothermique + Photovoltaïque (700 m²)
		Electricité	Electricité	Electricité
CO ₂	Energie finale [kWh]	1 038 278	883 278	938 278
	Facteurs en équivalent CO ₂ [kg eq CO ₂ / kWh _{EF}]	0,045	0,045	0,045
	Emissions en équivalent CO ₂ par poste [kg eq CO ₂]	46 723	39 748	42 223
	Emissions annuelles totales en équivalent CO ₂	46 723 [kg eq CO₂]	39 748 [kg eq CO₂]	42 223 [kg eq CO₂]

Par rapport au scénario 1, comme la solution PAC sur sondes géothermiques consomme moins, les émissions de CO₂ sont limitées.



© parenthesesURBaineS – 2022

IX – Conclusion

Conclusion

Les différents éléments présentés ont permis de mettre en évidence les potentiels importants en énergie renouvelable pour la zone de projet. Il s'agit tout particulièrement :

- Du solaire idéalement pour la production d'électricité (panneaux photovoltaïques) mais aussi pour la production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) (panneaux solaires thermiques);
- De l'aérothermie pour la production ECS;
- De l'aérothermie ou du bois (ou de la biomasse) pour la production de chaleur;
- Mais également de la récupération sur les eaux pluviales et sur les eaux grises des douches.

Les solutions individuelles sont privilégiées.

Toutefois, l'étude a également montré que la mise en place d'un réseau de chaleur pourrait avoir un intérêt non à l'échelle de la zone de projet, trop petite, mais à l'échelle de la commune en intégrant les équipements communaux par exemple.

Ainsi, les productions de chaleur de certains bâtiments ou de certains logements qui utilisent actuellement des énergies fossiles pourraient être remplacées par des productions utilisant des énergies renouvelables.

Pour la création d'un réseau de chaleur, de nombreuses aides financières existent. Elles peuvent être européennes (LFE, FEDER...), nationale (Fonds Chaleur de l'ADEME) et éventuellement régionales.

Ainsi, les coûts d'investissement pourraient être réduits.





© parenthesesURBaines – 2022