Projet du lotissement de la Tannerie

sur la commune de La Bouëxière (35)

Etude de faisabilité des approvisionnements en énergie renouvelables

Article L. 300 -1 du Code de l'urbanisme

Novembre 2019

Rapport réalisé par :

DM EAU
ZA de La Chauvelière
Rue Charles Lindbergh
35 150 JANZE
02.99.47.65.63

Maître d'ouvrage de l'opération

Maitre d'ouvrage :

Commune de La Bouëxière
5 rue Théophile Rémond
35340 LA BOUEXIERE
02 99 62 62 95

Contacts :

Stéphane PIQUET (Maire)

Camille HULIN– Chargée de missions Aménagement - 07. 85 45 23 89
amenagement@mairielabouexiere.fr

Auteurs de l'étude énergétique

Nom ou raison sociale :

Bureau d'études DM EAU
ZA de La Chauvelière
Rue Charles Lindbergh
35 150 JANZE
02.99.47.65.63
http://www.dmeau.fr

Les auteurs de l'étude énergétique :

Paul BERNARD (Ingénieur d'études – DM EAU)
p.bernard@dmeau.fr

Damien LE PAPE (Chargé d'études – DM EAU)
d.lepape@dmeau.fr

Sommaire

LEXIQUE 1

PREAMBULE 2

I. ANALYSE DU CONTEXTE 3

1. Qu'appelle-t-on énergie renouvelable ? 3
2. Pourquoi réaliser une étude de faisabilité des approvisionnements en énergie renouvelables ? 3
3. La méthodologie 4
4. Historique réglementaire et lutte contre le réchauffement climatique 5
   - 4.1. Le contexte international 5
   - 4.2. Le contexte Européen et National 6
   - 4.3. Le contexte énergétique breton 7
   - 4.4. Le contexte communal 9
5. Evolution de la réglementation thermique en France : de la RT 2012 à la RT 2020 9
6. Fin du CITE : la nouvelle prime déployée dès 2020 11

II. PRESENTATION DE L'OPERATION D'AMENAGEMENT 12

1. Localisation et présentation de la commune 12
2. Localisation du site du projet 13
3. Occupation du sol 14
4. Contexte topographique 15
5. Contexte climatique 16
   - 5.1. Les températures 16
   - *5.2.* L'ensoleillement 17
   - 5.3. Les précipitations 17
   - 5.4. Les vents 18
6. Présentation du projet 20
   - 6.1. Les objectifs détaillés du projet du lotissement de la Tannerie 20
   - 6.2. La programmation 21

III. EVALUATION DES BESOINS ENERGETIQUES DU PROJET 23

1. Usages énergétiques attendus 23

2. Evaluation des consommations énergétiques attendues 24

2.1. Consommations énergétiques prévisionnelles du programme des logements 24

2.2. Consommations prévisionnelles du programme des activités artisanales 28

2.3. Consommations prévisionnelles de l'ensemble du lotissement de la Tannerie : logements + activités artisanales 29

IV. ETUDE D'OPPORTUNITE DE CREATION D'UN RESEAU DE CHALEUR ALIMENTE PAR LES ENERGIES RENOUVELABLES 30

1. Préambule 30

2. Qu'est-qu'un réseau de chaleur ? 30

2.1. Définitions, principes de fonctionnement 30

3. Intérêts d'un réseau de chaleur : 32

4. Notion de densité énergétique 32

5. Etude d'opportunité 33

V. IDENTIFICATION DES ENERGIES RENOUVELABLES POTENTIELLEMENT UTILISABLES 38

1. Le solaire passif 38

2. Le solaire thermique (Eau chaude sanitaire, chauffage) 39

2.1. Le fonctionnement général du solaire thermique 39

2.2. Le Chauffe-Eau Solaire Individuel (CESI) 40

2.3. Le Système solaire combiné (SSC) 41

2.4. Le Chauffe-Eau Solaire collectif (CESC) 42

2.5. Le coût d'une installation solaire thermique 43

2.6. Le contexte climatique local 45

3. Le solaire photovoltaïque (électricité) 46

3.1. Le fonctionnement général du photovoltaïque 46

3.2. Les principaux types de modules photovoltaïques et leurs caractéristiques 47

3.3. Les onduleurs 48

3.4. Les utilisations possibles des panneaux photovoltaïques 49

3.5. Les aspects réglementaires 52

3.6. Le coût d'une installation photovoltaïque 53
3.7. Les critères à prendre en compte pour dimensionner une installation 55
3.8. Les valorisations possibles de l'électricité produite : Autoconsommation, vente totale, vente avec surplus ? 56
3.9. Le contexte climatique local 59
4. Le solaire hybride ou l'aérovoltalque 60
4.1. Le fonctionnement général du solaire hybride 60
4.2. Le coût d'une installation solaire hybride 61
5. L'éolien (électricité) 63
5.1. Le fonctionnement général de l'éolien 63
5.2. Les aspects réglementaires 66
5.3. Les atouts et contraintes 67
5.4. Le coût d'une installation d'éolienne 68
5.5. Le contexte climatique local lié au vent 69
6. L'énergie hydraulique (électricité) 72
6.1. Energie hydraulique marine 72
6.2. Energie hydraulique des rivières 72
7. L'aérothermie (Chauffage, eau chaude sanitaire) 73
7.1. Le fonctionnement général de l'aérothermie 73
7.2. Les aspects réglementaires 75
7.3. Les atouts et contraintes 75
7.4. Le coût d'une installation en aérothermique 76
7.5. Le contexte climatique local 77
8. La géothermie (électricité, chauffage) 78
8.1. Le fonctionnement général de la géothermie 78
8.2. Les aspects réglementaires 82
8.3. Les Atouts et contraintes 83
8.4. Le coût d'une installation en géothermie 83
8.5. Le contexte géologique local et le gisement potentiel 84
9. La récupération d'énergie sur les eaux usées 86
9.1. Définitions et principes de fonctionnement 86
10. Le bois énergie (chauffage) 88
10.1. Les types de bois 88

10.2. Les types d'installations pour chauffage individuel 89
10.3. Les installations pour chauffage collectif 93
10.4. Le coût d'une installation 94
10.5. Les disponibilités de bois à proximité de La Bouëxière 95
11. La méthanisation (biogaz) 97
11.1. Le fonctionnement général de la méthanisation 97
11.2. Situation en Bretagne au 1 septembre 2019 98
12. Synthèse du potentiel de développement des énergies renouvelables au sein du quartier 99
13. Les systèmes individuels de production d'énergie renouvelable adaptés 101

VI. SIMULATIONS D'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE DU LOTISSEMENT 102

1. Pour les maisons individuelles 102
1.1. La solution privilégiée pour le chauffage des maisons : le bois 102
1.2. La solution privilégiée pour la production d'eau chaude sanitaire au sein des maisons : le chauffe-eau solaire (solaire thermique) 104
1.3. La solution privilégiée pour la production d'électricité au sein des maisons : le photovoltaïque 106
2. Pour les collectifs 108
2.1. La solution privilégiée pour le chauffage des collectifs : la chaufferie collective aux granulés de bois 108
2.2. La solution privilégiée pour la production d'eau chaude sanitaire au sein des collectifs : le chauffe-eau solaire (solaire thermique) 109
2.3. La solution privilégiée pour la production d'électricité au sein des collectifs : le photovoltaïque 111
3. Pour les bâtiments d'activités 113
3.1. La solution privilégiée pour la production de chaleur au sein des bâtiments d'activités : le solaire thermique 113
3.2. La solution privilégiée pour la production d'électricité au sein des bâtiments d'activités : le photovoltaïque 114

VII. PRECONISATIONS EN MATIERE D'ECLAIRAGE PUBLIC 116

VIII. PRECONISATIONS POUR AVOIR UNE MAISON ECONOME EN ENERGIE 118

1. Implantation et organisation du bâtiment/des espaces 118
1.1. Capter / se protéger de la chaleur 118
1.2. Transformer, diffuser la chaleur 119
1.3. Conserver la chaleur ou la fraicheur 120
2. Compacité du bâtiment 120
3. Eclairage naturel 120
4. Isolation des bâtiments 121
4.1. Les différents isolants disponibles 121
4.2. Quel isolant pour quel usage ? 127
4.3. Quelle épaisseur d'isolant ? 128
5. Ventilation 129
5.1. Pourquoi ventiler son habitation ? 129
5.2. Des solutions pour limiter les consommations liées à la ventilation 129
5.3. La ventilation double flux 130
5.4. La VMC hygroréglable 131
5.5. Le puits canadien 132
6. Autres astuces pour apprendre à consommer moins d'énergie 134

IX. PISTES D'ACTIONS POUR LA COMMUNE / AMENAGEUR POUR ENCOURAGER LE RECOURS AUX ENERGIES RENOUVELABLES ET LA BAISSE DES CONSOMMATIONS 135

1. Mesures obligatoires 135
2. Mesures incitatives 135
3. Mesures liées à la fourniture 136

X. ANNEXES 137

Fiche 1 : le solaire passif

Fiche 2 : le solaire photovoltaïque

Fiche 3 : le solaire thermique

LEXIQUE

- ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
- AMO : Assistance à maîtrise d'ouvrage
- BBC : Bâtiment Basse Consommation (label de la RT 2005)
- Bbio : Besoins bioclimatique (indicateur de la RT 2012) : indicateur de la qualité de conception bioclimatique du bâtiment
- BE : Bureau d'étude
- BEPOS : Bâtiment à Energie Positive (qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme)
- Cep : Consommation d'énergie primaire (indicateur de la RT 2012 en kWhep/m²de SHON RT/an))
- CESI : chauffe-eau solaire individuel
- CET : Chauffe-eau Thermodynamique
- CITE : Crédit d'Impôt pour la Transition Énergétique
- COP : Coefficient de Performance
- DPE : Diagnostic de performance énergétique
- Eco-PTZ : Eco-prêt taux zéro
- ECS : Eau chaude sanitaire
- Energie finale : Energie utilisable après les opérations d'extraction, de production, de transport etc.
- Energie primaire : Energie disponible avant exploitation ou transformation
- ENR : Energies Renouvelables
- GES : Gaz à effet de serre
- HPE : Haute Performance Energétique (label de la RT 2005)
- HQE : Haute Qualité Environnementale
- kWhep : kiloWatt.heure d'énergie primaire
- PAC : Pompe à Chaleur
- Passif : Bâtiment très faiblement consommateur d'énergie
- PLF : projet de loi de finances
- RCU : Réseau de chaleur Urbain
- RT : Réglementation Thermique
- RT 2005 : Règlementation thermique précédente
- RT 2012 : Règlementation thermique en vigueur en 2019
- RT 2020 : Règlementation thermique en vigueur à partir du 1er janvier 2021
- SDP : Surface de plancher
- SHON : Surface hors œuvre nette
- SHON RT : SHON considérée dans la règlementation thermique
- SSC : ystèmes solaires combinés ou chauffage solaire
- Teq CO2 : Tonne équivalent CO2
-

PREAMBULE

La Bouëxière est une commune rurale d'Ille et Vilaine, située à la limite Est du Pays de Rennes et au sud du Bassin de Vie de Liffré. Elle accueille environ 4 300 habitants et s'étend sur 49,68 km². La Bouëxière est membre de la Communauté de communes de Liffré-Cormier et adhère également au Syndicat mixte du SCoT du Pays de Rennes.

Fin 2017, Le Conseil Municipal à approuvé la révision du Plan Local d'Urbanisme (PLU). Ce dernier fixe un objectif de poursuite de la croissance démographique sur les 15 prochaines années. La volonté des élus est d'accueillir environ 1 300 nouveaux habitants d'ici 2030, soit une croissance démographique de 1,8%. Afin d'atteindre cet objectif démographique, 600 nouveaux logements doivent être construits avant cette date, soit en moyenne 40 logements par an. Afin d'atteindre l'objectif de 600 logements, plusieurs secteurs ont été ouverts à l'urbanisation dont le secteur de La Tannerie – Grande Fontaine. Ce secteur qui s'étend sur près de 17,5 ha, est localisé au sud du centre-ville, entre la zone d'activités de Bellevue et le quartier de Grande Fontaine. Il est occupé essentiellement par des terres agricoles (cultures céréalières, pâturages). Le Plan Local d'Urbanisme prévoit d'y implanter en grande majorité des habitations. Seul, le secteur sud-est sera destiné à l'accueil d'activités économiques.

Le projet est soumis à étude d'impact au titre de la rubrique 39 du tableau annexé à l'article R122-2 du code de l'environnement.

La loi Grenelle 1 a introduit l'obligation de réaliser une étude de faisabilité relative au développement des énergies renouvelables pour toutes les nouvelles actions ou opérations d'aménagement soumises à étude d'impact.

Initialement c'est l'article L128-4 du code de l'urbanisme qui mentionnait l'étude de faisabilité sur le potentiel de développement des énergies renouvelables lors des opérations d'aménagement. Cet article a été abrogé par ordonnance n°2015-1174 du 23 septembre 2015 mais l'obligation de ladite étude est toujours valable et est directement intégrée à l'article L300-1 du même code.

Article L300-1 du Code de l'Urbanisme : *Toute action ou opération d'aménagement faisant l'objet d'une évaluation environnementale doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération.*

La présente étude s'inscrit dans ce cadre réglementaire et vise à dresser un état des lieux des énergies renouvelables qui pourraient être utilisées pour le projet et à définir les possibilités à envisager pour le site.

I. ANALYSE DU CONTEXTE

1. QU'APPELLE-T-ON ENERGIE RENOUVELABLE ?

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.

2. POURQUOI REALISER UNE ETUDE DE FAISABILITE DES APPROVISIONNEMENTS EN ENERGIE RENOUVELABLES ?

Les choix réalisés dans le cadre d'un aménagement engagent sur plusieurs dizaines d'années, et ont des conséquences directes en matière d'énergie : le coût pour les usagers et la collectivité (niveau et stabilité), l'impact sur le climat (émissions de gaz à effet de serre) et sur l'environnement (qualité de l'air, impact paysager...). Ces choix doivent donc être justifiés par une analyse objective.

Le principal poste de consommation d'énergie en France est le bâtiment : il représente plus de 40% de l'énergie consommée chaque année. Or une opération d'aménagement a très souvent pour objet premier de préparer une zone de territoire à l'accueil de bâtiments : mise en place d'infrastructures, découpage en parcelles, définition de règles d'occupation du sol...

Chaque aménagement est différent : usage, taille, densité, contexte local, objectifs et priorités fixées par le maître d'ouvrage... Il ne peut donc pas exister de solution universelle en matière d'énergie. Certaines solutions ne relèvent pas de choix directs de la collectivité ou de l'aménageur, mais peuvent être influencées par eux (orientation des parcelles, subventions, actions de communication...). D'autres solutions nécessitent une action directe, comme la mise en place d'infrastructures telles que les réseaux de distribution de chaleur et de froid, de gaz ou d'électricité. L'aménagement lui-même peut faire l'objet d'adaptations (densification, réorganisation du découpage parcellaire...) en fonction des objectifs fixés en matière d'énergie.

La collectivité et l'aménageur disposent ainsi de leviers pour développer les énergies renouvelables à l'échelle de la zone. Plus les solutions à développer sont identifiées en amont, plus les possibilités d'actions sont importantes. Ceci est d'autant plus vrai que la réglementation thermique en France va évoluer prochainement. En effet, La RT 2012, actuellement en vigueur, devrait être remplacée au 1er janvier 2021 par la RT 2020 (ou RE 2020). La RT 2012 concentre ses améliorations de performance énergétique sur les aspects thermiques et sur l'isolation du logement. La RT 2020, va ajouter en plus la production d'énergie.

L'étude doit permettre de :

- déterminer les potentiels en énergies renouvelables au niveau du futur lotissement
- donner au Maître d'Ouvrage et futurs acquéreurs les facteurs clés à prendre en considération avant de choisir une énergie ou une autre. Pour cela, des études de cas ont été réalisées pour comparer la rentabilité ainsi que les apports en énergies renouvelables de chaque solution.

En définitive, l'objet de cette étude sur le développement des énergies renouvelables, est de contribuer à l'identification des solutions à développer au moment opportun et de permettre leur mise en œuvre.

Cette étude est une aide à la décision, visant à accompagner les acteurs locaux dans la prise en compte des enjeux énergétiques et environnementaux de leurs démarches d'aménagement du territoire.

L'article L300-1 du Code de l'urbanisme ne confère aucun caractère opposable à l'étude : il n'y a en toute rigueur pas d'obligation juridique d'en suivre les conclusions.

3. LA METHODOLOGIE

Conformément à l'article L300-1 du Code de l'Urbanisme, cette étude a pour objectif de dresser un état des lieux des potentiels de développement des énergies renouvelables du futur lotissement. Ce rapport définit notamment les possibilités d'implantation de système centralisé permettant de fournir l'énergie nécessaire aux bâtiments à travers des réseaux de chaleur par exemple. Cette étude vise également à définir la part relative à l'énergie dans l'impact environnemental global du projet.

En effet, l'évolution culturelle et réglementaire impose la réalisation de bâtiments de plus en plus performants (approche bioclimatique, meilleure isolation, utilisation d'équipements performants et d'énergies renouvelables) afin de limiter globalement l'impact du secteur du bâtiment sur l'appauvrissement des ressources fossiles et sur le dérèglement climatique.

Le présent rapport comprend tout d'abord un rappel du contexte réglementaire et énergétique à différentes échelles : internationale, nationale et régionale. Le projet d'aménagement du lotissement est ensuite présenté. Enfin, l'étude présente à traverse plusieurs phases, les énergies renouvelables qu'il est possible d'envisager dans le cadre de ce projet.

- Phase 1 : Présentation du projet du lotissement de la Tannerie
- Phase 2 : Analyse des besoins énergétiques du projet
- Phase 3 : Etude de l'opportunité de créer un réseau de chaleur alimenté par les énergies renouvelables.
- Phase 4 : Identification des énergies renouvelables potentiellement utilisables
- Phase 5 : Proposition d'approvisionnement en énergie du lotissement

4. HISTORIQUE REGLEMENTAIRE ET LUTTE CONTRE LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Les démarches visant à encourager le développement des énergies renouvelables répondent à deux objectifs principaux à l'échelle mondiale :

- lutter contre le réchauffement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre issues de ressources non renouvelables ;
- tendre vers une autonomie énergétique qui se passerait des énergies fossiles.

4.1. Le contexte international

A l'échelle mondiale, la diminution des ressources énergétiques fossiles et la hausse durable de leur prix, l'augmentation considérable des besoins en énergie, les difficultés d'approvisionnement, le poids du secteur énergétique dans les émissions de CO2 et la lutte contre le changement climatique imposent d'adapter les modes de production et de consommation d'énergie.

Par ailleurs, l'accident de Fukushima et ses conséquences ont conduit à une volonté de redéfinir les mix énergétiques dans de nombreux pays et notamment en Europe (l'Allemagne sortira du nucléaire d'ici 2022, l'Italie a dit non par référendum au retour du nucléaire et la Suisse a décidé une sortie progressive d'ici 2034). Face à cette situation, il est naturel de se demander quelle sera l'alternative à ces différentes énergies.

Il semble que les énergies renouvelables soient un des éléments de réponse à cette question, c'est pourquoi la plupart des États font des énergies renouvelables une priorité de leur politique énergétique.

Ainsi, depuis une vingtaine d'années, la réglementation dans le domaine de l'énergie connaît de profondes évolutions.

Au plan international, la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) est la première tentative, dans le cadre de l'ONU, de mieux cerner ce qu'est le changement climatique et comment y remédier. Elle a été adoptée au cours du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992 par 154 États auxquels il faut ajouter la totalité des membres de la Communauté européenne. Elle est entrée en vigueur le 21 mars 1994. En 2004, elle était ratifiée par 189 pays, en 2015 on recense 195 pays et en 2018, par 197 pays.

Puis en 1997, le protocole de Kyoto est un accord international visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et qui vient s'ajouter à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques dont les pays participants se rencontrent une fois par an depuis 1995. Ce protocole a été adopté le 11 décembre 1997 et est entré en vigueur le 16 février 2005. Il visait à réduire, entre 2008 et 2012, d'au moins 5 % par rapport au niveau de 1990 les émissions de six gaz à effet de serre : dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote et trois substituts des chlorofluorocarbones.

En décembre 2009, a eu lieu à Copenhague, la 15ème conférence annuelle des représentants des pays ayant ratifié la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (COP15) et la 5ème rencontre des États parties au protocole de Kyoto. Elle devait être l'occasion de renégocier un accord international sur le climat prenant la suite du protocole de Kyoto.

La COP 15 a abouti au « premier accord réellement mondial visant à ne pas dépasser une augmentation moyenne de 2 °C en 2100, sans toutefois s'accorder sur l'objectif de réduire de moitié les émissions de gaz à effet de serre en 2050 par rapport à celles de 1990. Cet accord n'est pas juridiquement contraignant, car il ne prolonge pas le protocole de Kyoto, censé prendre fin en 2013. Cet accord de Copenhague est donc considéré par beaucoup comme un échec partiel.

Plus récemment en 2015, s'est tenue à Paris, la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (COP21). L'Accord de Paris qui y a été adopté marque un tournant dans la lutte contre le réchauffement climatique puisqu'il prévoit de contenir d'ici à 2100 le réchauffement climatique « bien en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels » et si possible de viser à « poursuivre les efforts pour limiter la hausse des températures à 1,5 °C » (article 2), ce qui est plus ambitieux que le projet d'accord initial, afin de permettre la sauvegarde des Etats insulaires (les plus menacés par la montée des eaux), en prévoyant une clause de révision des engagements.

4.2. Le contexte Européen et National

Dans le cadre des accords de Kyoto, la communauté européenne a fixé l'objectif communautaire: "3 X 20 en 2020" :

- réduction de 20 % des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2020 par rapport à 1990 ;
- 20 % d'énergies renouvelables en Union Européenne en 2020 ;
- baisse de 20 % de la consommation d'énergie par rapport aux projections pour 2020.

Parallèlement, à travers le Plan Climat National, acté en 2004, la France a manifesté sa volonté d'aller plus loin en visant le Facteur 4 à horizon 2050, c'est-à-dire diviser par 4 ses émissions de GES à cette échéance. Ce plan préconise également la réalisation de programmes d'actions locaux dits PCET (Plans Climat Energie Territoriaux), destinés à réduire les émissions de GES et à anticiper les effets prévisibles du changement climatique

Depuis 2007, le Grenelle de l'Environnement a accéléré l'évolution des règlementations au niveau français, notamment celle de la règlementation thermique des bâtiments neufs et existants. L'article 4 de la loi n°2009-967 du 3 aout 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement, établit les grandes lignes de la Réglementation Thermique 2012, dont les modalités sont fixées par l'arrêté du 26 octobre 2010. Elle limite notamment à 50 kWh d'énergie primaire (modulable) la consommation maximale annuelle surfacique pour les usagers suivants : chauffage et auxiliaires, eau chaude sanitaire, ventilation, climatisation et éclairage.

Enfin, la Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte a été publiée au Journal Officiel du 18 août 2015 et va permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique. Elle fixe un certain nombre d'objectifs :

- Moins 40% d'émissions de gaz à effet de serre en 2030 par rapport à 1990
- Moins 30 % de consommation d'énergie fossiles en 2030 par rapport à 2012
- Porter la part des énergies renouvelables à 32% de la consommation finale d'énergie en 2030 et à 40% de la production d'électricité
- Réduire la consommation énergétique finale de 50% en 2050 par rapport à 2012

  Diversifier la production d'électricité et baisser à 50 % la part du nucléaire à l'horizon 2025

4.3. Le contexte énergétique breton

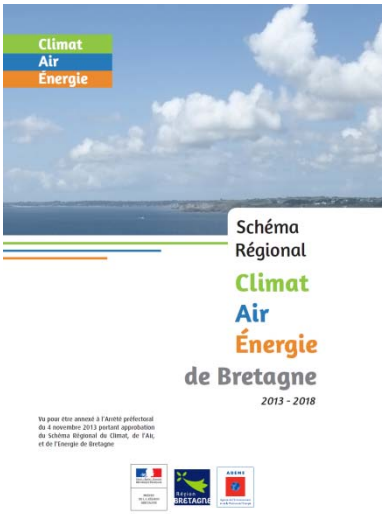
La Bretagne connaît une situation de fragilité électrique due à plusieurs facteurs :

- sa situation péninsulaire, d'où une fragilité des réseaux de transport
- sa faible production électrique (9,5 % seulement de la consommation, dont 60 %
- assurée par des énergies renouvelables)
- la forte croissance démographique corrélée au recours important au chauffage électrique

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

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

a) Le SRCAE Bretagne



Le schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie de Bretagne 2013-2018 (SRCAE) a été arrêté par le Préfet de région le 4 novembre 2013, après approbation par le Conseil régional lors de sa session des 17 et 18 octobre 2013. Co-élaboré par l'État et la Région, en concertation avec les acteurs régionaux, le SRCAE définit aux horizons 2020 et 2050 les grandes orientations et les objectifs régionaux pour maîtriser la demande en énergie, réduire les émissions de gaz à effet de serre, améliorer la qualité de l'air, développer les énergies renouvelables et s'adapter au changement climatique.

Parmi les thématiques abordées, celles des énergies renouvelables (thématique 8) et les objectifs suivants :

- Mobiliser le potentiel éolien terrestre
- Soutenir l'émergence et le développement des énergies marines
- Mobiliser le potentiel éolien offshore
- Accompagner le développement de la production électrique photovoltaïque
- Favoriser la diffusion du solaire thermique
- Soutenir et organiser le développement des opérations de méthanisation
- Soutenir le déploiement du bois-énergie
- Développer les capacités d'intégration des productions d'énergies renouvelables dans le système énergétique

Il comporte, en annexe, un volet spécifique consacré à l'éolien terrestre (schéma régional éolien breton) arrêté le 28 septembre 2012 par le Préfet de région. Ce schéma régional éolien breton établissait à titre indicatif, la liste des communes situées en zones favorable à l'éolien. Ce schéma a cependant été annulé par un jugement du Tribunal Administratif de Rennes du 23 octobre 2015.

b) Le Plan éco-énergie pour la Bretagne

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

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

Fédérées autour du slogan et du sigle « Rassemblons nos énergies ! Plan Eco-Energie Bretagne », les trois institutions ont fixé des axes d'actions prioritaires :

- Le soutien aux collectivités locales, aux entreprises, aux acteurs économiques, aux associations à travers des appels à projets, des aides à la décision, l'élaboration d'outils méthodologiques, un accompagnement des opérations exemplaires.
- La sensibilisation du grand public aux modes de consommation et aux comportements responsables en matière d'énergie, en particulier par le développement du réseau breton des espaces Info-énergie.
- La création de l'Observatoire de l'énergie et des gaz à effets de serre.

c) Le pacte électrique breton

Le contexte énergétique breton, que l'on peut résumer à une croissance forte de la consommation électrique et à une très faible production locale, a mobilisé depuis longtemps les acteurs de notre territoire.

Le Pacte électrique breton a été élaboré par l'État et la Région, en collaboration avec l'ADEME, l'ANAH et RTE, pour faire face à cette situation de fragilité électrique structurelle de la Bretagne.

Il a été co-signé le 14 décembre 2010 par le Préfet de Région et les Présidents du Conseil Régional et des 3 partenaires. Il comprend 3 piliers indissociables et complémentaires :

- la maîtrise des consommations d'électricité,
- le déploiement des énergies renouvelables et
- la sécurisation de l'approvisionnement électrique

En termes de maîtrise de la demande en électricité, l'objectif est une diminution par deux d'ici 2015, puis par trois d'ici 2020 de la croissance de la consommation électrique de la Bretagne. En 2020, l'économie attendue est de 1 200 GWh, soit l'équivalent de la consommation d'une ville de 180 000 habitants.

En matière de développement des énergies renouvelables, l'objectif visé est l'installation de 3600 MW à l'horizon 2020, ce qui représentera 34% de la consommation bretonne. Il donc prévu de manière très volontariste de multiplier la puissance installée par 4 en seulement 10 ans, pour parvenir à une production équivalente à 2 fois la consommation annuelle de l'industrie bretonne.
Le 15 janvier 2018, a été inauguré le « filet de sécurité » : une ligne électrique souterraine de 76 kilomètres à 225 000 volts, réalisée par RTE, reliant Lorient (Morbihan) à Saint-Brieuc (Côtes-d'Armor). La mise en service de cette nouvelle ligne électrique marque une étape importante dans la réalisation des objectifs du Pacte électrique breton et concrétise le nécessaire renforcement du réseau, en lien avec la situation de péninsule électrique de la Bretagne. La nouvelle ligne électrique, qui passe par le centre Bretagne, contribuera également à accueillir les productions d'énergies renouvelables, indispensables à la réussite de la transition énergétique engagée en France et en Europe.

Aujourd'hui, la Bretagne reste en situation de forte dépendance électrique : en 2016, la production d'électricité couvrait seulement près de 15 % de la consommation. Cela signifie que la Bretagne continue à importer son électricité de manière très importante depuis les régions voisines. La réalisation du « filet de sécurité », action majeure pour disposer d'un réseau robuste et performant garantissant la desserte en électricité de tous les territoires de Bretagne et par là même leur compétitivité, reste complémentaire de 2 autres grands projets, en cours : le développement des réseaux intelligents (projet SMILE) et la création d'un nouveau moyen de production : la centrale à cycle combiné gaz de Landivisiau.

4.4. Le contexte communal

La commune de La Bouëxière a fait du développement durable et du respect de l'environnement une de ses priorités. Ainsi, la municipalité est investie depuis plusieurs années dans des actions visant à réduire l'énergie consommée.

Le PLU Communal, assorti d'Orientation d'Aménagement et de Programmation en cohérence avec le PADD s'inscrit en complémentarité du règlement. Elles traduisent les intentions locales et précisent par voie graphique les principes d'aménagement retenus sur chacun des sites de projet. Les orientations générales intègrent notamment les objectifs de développement durable avec la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la maîtrise de l'énergie et la production énergétique à partir de sources renouvelables.

5. EVOLUTION DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE EN FRANCE : DE LA RT 2012 A LA RT 2020

La réglementation thermique est une norme qui permet de réglementer et d'encadrer les bâtiments neufs et de montrer leur consommation énergétique maximale.

La dernière Règlementation Thermique, encore en vigueur aujourd'hui, date de 2012 et s'applique aux bâtiments neufs qui ont fait l'objet d'une demande de permis de construire déposée après le 1er janvier 2013. Au cours des années, elle a connu quelques ajustements mais son but reste le même. La RT 2012 se concentre sur les améliorations de performance énergétiques concernant les aspects thermiques et l'isolation du logement.

Une nouvelle norme devrait bientôt débarquer dans la construction neuve pour réduire les consommations d'énergie et améliorer le cadre de vie. Il s'agit de la RE 2020. La RE 2020 devrait être en vigueur et obligatoire pour tous les bâtiments neufs d'ici 2021. Selon l'avancement des aménagements, certaines constructions du futur lotissement de la Tannerie seront soumises à cette réglementation. Le contour de la réglementation RE 2020 sera défini et le périmètre sera arrêté courant de l'année 2020, pour une application au cours de l'année 2021.

Contrairement à la RT 2012, la RE 2020 (Réglementation Environnementale 2020) ne se concentre pas seulement sur la dimension thermique des bâtiments. Elle intègre en plus l'aspect « production d'énergie ». Son objectif est que toute nouvelle construction devra produire davantage d'énergie qu'il n'en consomme.

La RT 2012, actuellement en vigueur en 2019, correspond, dans le résidentiel, à une consommation annuelle d'énergie primaire (EP) inférieure à 50 kWhEP/m².an, soit le standard BBC (Bâtiment Basse Consommation).
La RE 2020 aura quant à elle pour objectif une dépense énergétique de 0 KWhep/m²/an pour ses nouveaux logements.

Les BEPOS reprennent les principes des maisons passives c'est-à-dire les bâtiments dont la consommation énergétique au mètre carré est très basse, en incluant de nombreux équipements de production énergétique :

- Une isolation thermique renforcée,
- Une captation de l'énergie solaire
- Des fenêtres de haute qualité (chauffantes et rafraîchissantes)
- La récupération des eaux de pluie
- Une ventilation avec récupération de chaleur sur l'air vicié
- La limitation des consommations énergétiques des appareils ménagers

Il s'agit donc de mettre à profit les murs, le toit, les fenêtres de ces nouveaux logements performants afin d'accumuler et de restituer la chaleur.

Enfin, le surplus d'énergie produit par les futurs logements pourra être revendu ou réinjecté dans le réseau électrique public.

	Normes RT 2012	**Normes RE 2020**
Classe énergétique bâtiments	Bâtiments Basse Consommation (BBC)	Bâtiments à énergie positive (BEPOS)
Consommation	Limitation de la consommation en énergie ≤ 50 kWh :m² par an	Production en énergie > énergie consommée Dépense < 0 kWh/m²/an
Date d'application	En vigueur depuis le 1er janvier 2013	Pas de date officielle Estimation courant 2021

RT 2012 et RT 2020, ce qui change

6. FIN DU CITE : LA NOUVELLE PRIME DEPLOYEE DES 2020

Jusqu'au 31 décembre 2019, lorsque des travaux étaient réalisés afin d'améliorer la performance énergétique des logements, il était possible, sous certaines conditions de bénéficier du crédit d'impôt transition énergétique (CITE). Le crédit d'impôt transition énergétique (CITE) permettait de déduire de l'impôt sur le revenu, une partie des dépenses engagées pour les travaux d'amélioration de l'efficacité énergétique du logement.

A partir de 2020, le CITE disparait. L'article 4 du projet de loi de finances (PLF) pour 2020 prévoit de transformer le CITE en prime forfaitaire davantage ciblée sur la performance énergétique et les ménages modestes. Le versement de cette nouvelle aide sera opéré par l'Agence nationale de l'habitat (Anah) au moment de la réalisation des travaux pour limiter les contraintes de trésorerie.

La transformation intégrale du CITE en prime sera réalisée en 2 temps afin d'assurer la mise en œuvre de cette réforme dans les meilleures conditions possibles :

- Dès le 1er janvier 2020 : pour les ménages les plus modestes, dont les revenus respectent les plafonds relatifs aux aides de l'Anah en faveur de la rénovation énergétique.
- Puis en 2021, pour les ménages aux revenus intermédiaires. À titre transitoire, en 2020, ces ménages bénéficieront d'un dispositif de prorogation du CITE jusqu'au 31 décembre 2020. Le PLF prévoit d'instaurer un montant de crédit d'impôt propre à chaque équipement, matériel, appareil ou prestation éligible.

Afin de concentrer l'effort budgétaire sur les ménages les plus modestes, en 2020, les ménages les plus aisés (déciles 9 et 10) ne pourront ni bénéficier de la prime, ni du CITE.

Les caractéristiques et les modalités de distribution de la prime de transition énergétique seront fixées par décret.

II. PRESENTATION DE L'OPERATION D'AMENAGEMENT

1. LOCALISATION ET PRESENTATION DE LA COMMUNE

La commune de La Bouëxière se situe en Bretagne, dans le département d'Ille-et-Vilaine (35), à la limite Est du Pays de Rennes et au sud du Bassin de Vie de Liffré.

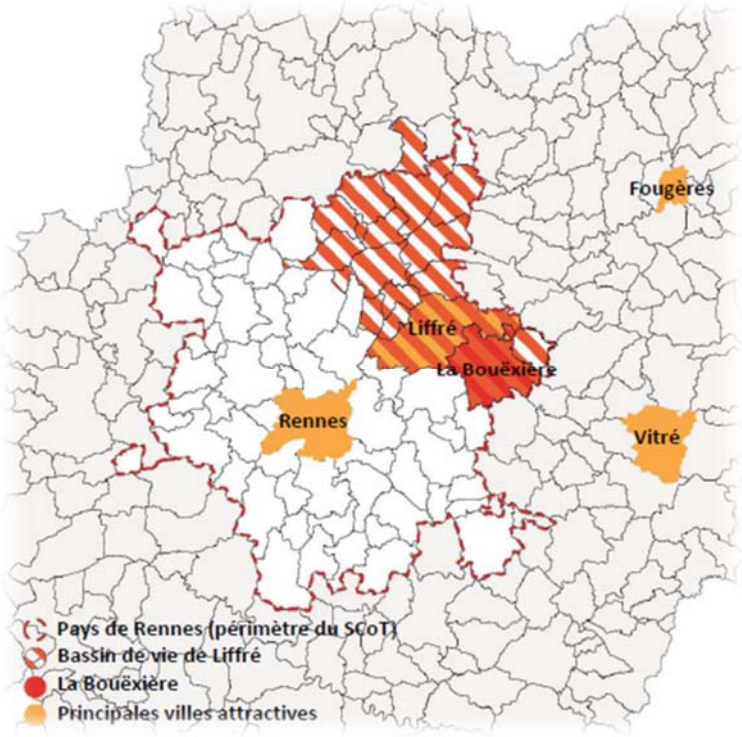
La Bouëxière occupe une position stratégique au carrefour de plusieurs villes :

- à 8 kilomètres de Liffré,
- à 20 kilomètres de Vitré,
- à 25 kilomètres de Rennes.

La commune s'étend sur près 50 km² et comprend environ 4 400 habitants au dernier recensement de 2016, pour une densité de 89 habitants/km².

La commune est entourée par les forêts de Liffré, au nord, et de Chevré, au sud, cette dernière étant située sur le territoire de la commune. Cette présence de boisements affirme ainsi le caractère vert de la commune.

De plus, la quasi-absence de remembrement sur le territoire a préservé une grande diversité physionomique et écologique où coexistent rivières, zones humides, massifs forestiers et prairies de bocage. Ce bocage se caractérise par des haies avec un maillage dense, diversifiées en espèces avec une dominance de chênes et de châtaigniers, les parcelles étant elles-mêmes souvent plantées de pommiers aux abords des fermes.



Localisation de la commune

Enfin, La Bouëxière est membre de la Communauté de communes de Liffré-Cormier et adhère également au Syndicat mixte du SCoT du Pays de Rennes.

2. LOCALISATION DU SITE DU PROJET

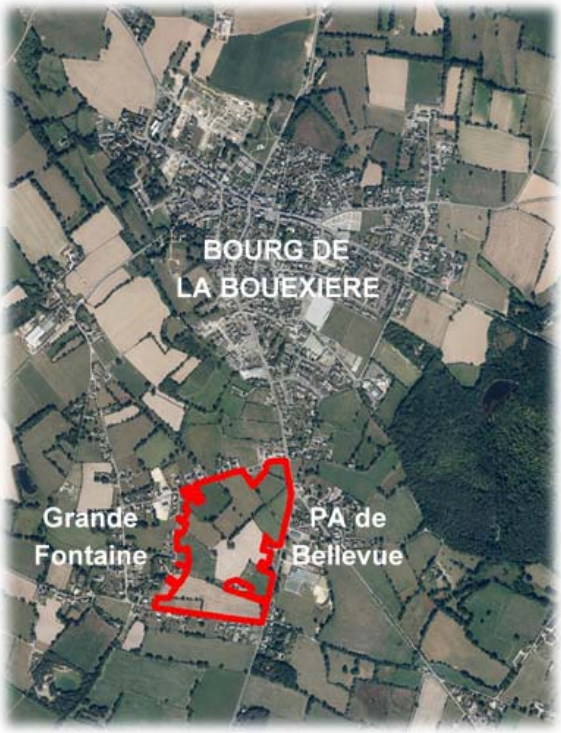
Le secteur de La Tannerie se situe au sud du bourg, entre la zone d'activités de Bellevue et le quartier de Grande Fontaine. Il s'étend sur environ 15,8 ha et est occupé essentiellement par des terres agricoles (cultures céréalières, pâturages). Le terrain d'assiette représente des terrains enclavés dans un tissu urbain diffus, dans la tache urbaine de la commune.

Localisation du site de la Tannerie au sein du territoire communal

Il est délimité :

- Au nord par l'allée de Bellevue
- A l'ouest par l'allée de La Vignole
- Au sud par l'allée de la Tannerie
- A l'est par la RD101 qui dessert la commune depuis le sud

Les limites Nord, Est et Ouest du projet s'écartent des axes routiers dont ils sont séparés par des rideaux résidentiels.



Périmètre de l'opération – Permis d'aménager du lotissement de la Tannerie

3. OCCUPATION DU SOL

Le périmètre du site du projet est une enclave agricole incluse dans la tâche urbaine existante, essentiellement utilisée pour du pâturage et comportant une trame bocagère qualitative. En effet, les parcelles sont délimitées par un maillage bocager qui rythme le paysage et participe à son identité.

L'emprise du futur projet de la Tannerie occupe une place stratégique pour la Bouëxière au carrefour de plusieurs formes urbaines. Le périmètre du permis d'aménager ne comporte pas de bâti. Toutefois, autour du site du projet, on recense de nombreuses maisons individuelles, ainsi que la zone d'activités des Landes de Bellevue 2, à l'est de la D 101. On y trouve également une ferme comprenant des bâtiments agricoles (hangars).

Carte de l'occupation des sols sur le site du projet

4. CONTEXTE TOPOGRAPHIQUE

La topographie du site fait apparaître une crête naturelle qui impose la gestion des eaux à plusieurs niveaux.

Le point le plus haut du projet se trouve au sud-est du périmètre (voir photo ci-contre), à une altitude de 122,8 m NGF. L'altitude moyenne diminue ensuite en direction du nord et de l'ouest. Le point le plus bas se trouve au nord de la zone humide (voir photo ci-contre) et avoisine les 113,7 m NFG, soit 9 m en dessous de l'altitude maximale au sud. La pente principale est orientée sur un axe sud-est / nord-ouest et avoisine les 1,8 %. L'autre pente principale est orientée selon un axe est/ouest et est de 1,3 %. Les eaux de ruissellement s'écoulent donc globalement selon ces axes.

Les futures constructions pourront tirer le meilleur parti des conditions du site et de son environnement. L'exposition Sud permettra, grâce à une conception bioclimatique des bâtiments, d'améliorer le confort des utilisateurs (températures, taux d'humidité, luminosité).

Plan topographique de la zone

5. CONTEXTE CLIMATIQUE

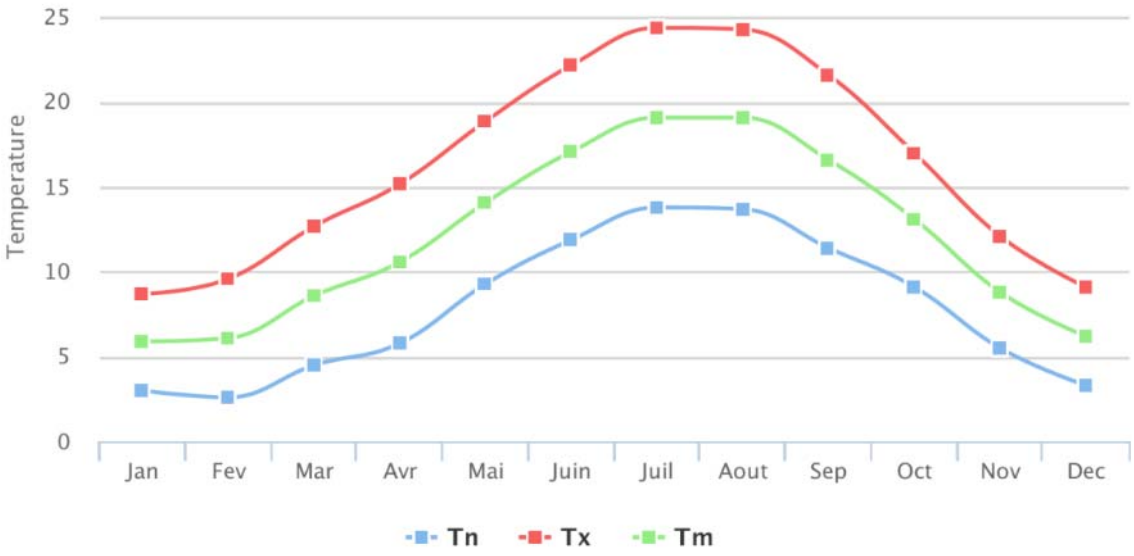
La climatologie de la commune de La Bouëxière est appréciée à partir des données issues de la station météorologique de Rennes-Saint-Jacques entre 1981 et 2010. Cette station est proche géographiquement de La Bouëxière (13 km), et se situe également dans un contexte climatique et altimétrique similaire.

L'analyse des données météorologiques révèle un climat océanique doux de type océanique dégradé, c'est-à-dire qu'il a perdu légèrement de ses caractéristiques, au profit du climat continental. Les pluies sont fines et abondantes et réparties sur toute l'année. Le Pays de Rennes est toutefois le territoire de Bretagne le moins arrosé. Les hauteurs du Massif armoricain le protègent des flux d'ouest.

5.1. Les températures

D'après les relevés de température de Météo France, la température moyenne annuelle est de 12,1°C. Les amplitudes thermiques journalières et annuelles sont faibles. Les valeurs moyennes sont proches de 6°C en hiver et 18°C environ en été. Les températures minimales moyennes sont atteintes en février (3 °C) et les maximales moyennes en juillet-août (24 °C). Les jours de gel sont rares et les températures inférieures à moins 7 °C sont brèves et exceptionnelles (Zone 9 de rusticité des plantes).

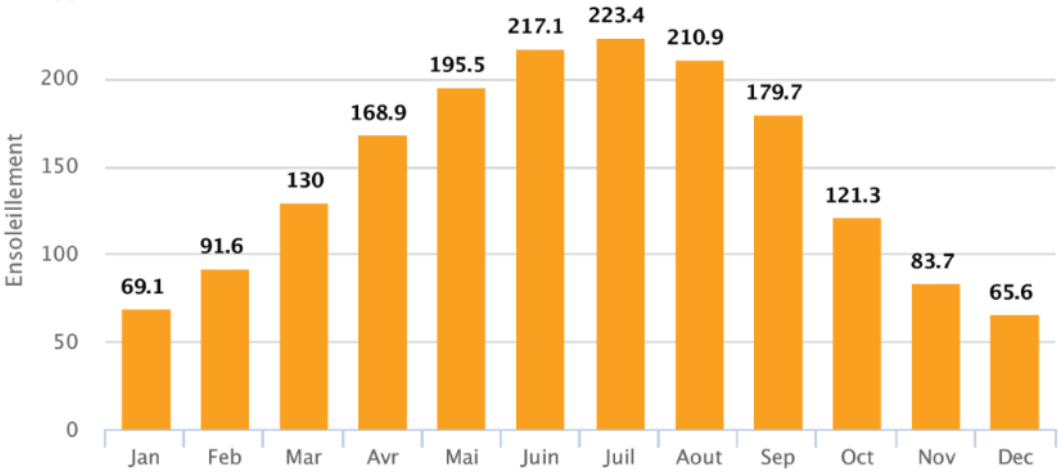
Les températures sont caractérisées par des froids hivernaux peu marqués (aucune température moyenne mensuelle minimale négative) et des étés tempérés. L'écart entre les minimales et les maximales est quasiment identique toute l'année.



Températures moyennes à Rennes (1981 - 2010) - Source : Météo-France

5.2. L'ensoleillement

Le territoire présente un ensoleillement moyen de 1756 heures par an, ce qui est inférieur à la moyenne française de 1970 heures annuelles. Le mois de juillet (223 h) constitue le mois le plus ensoleillé ; à l'inverse du mois de décembre (65 h).

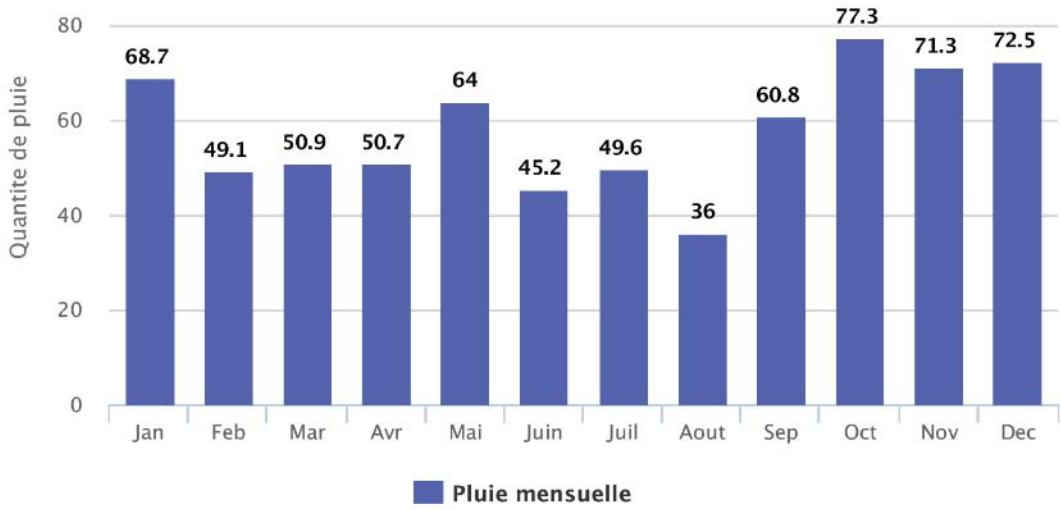


Durées moyennes d'ensoleillement à Rennes (1981 - 2010) - Source : Météo-France

5.3. Les précipitations

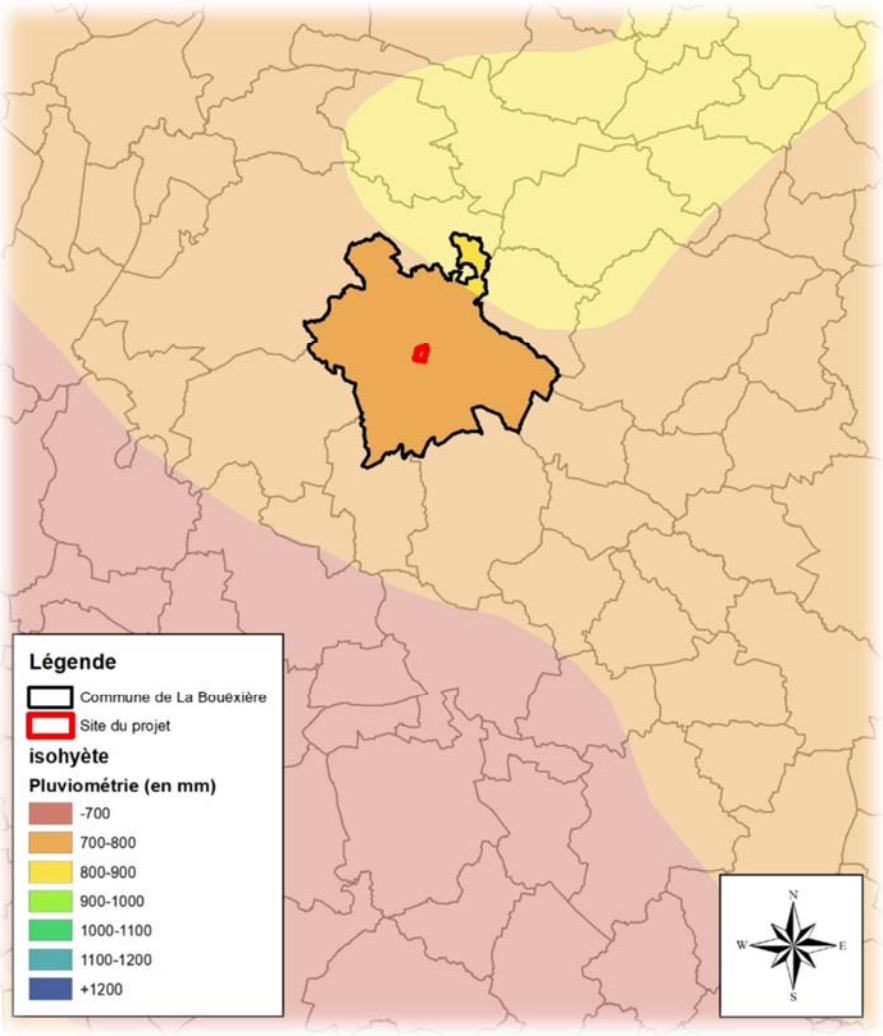
Les précipitations moyennes annuelles sur la région rennaise sont de 696 mm, ce qui est en dessous de la moyenne nationale (867 mm). Les pluies décroissent de février à juillet pour atteindre leur minimum en aout (36 mm). Le mois de mai reste toutefois particulièrement pluvieux. Les derniers mois de l'année sont les plus arrosés (supérieurs à 71 mm). Les pluies sont peu abondantes, les orages sont rares et les épisodes neigeux exceptionnels.

Lors des dernières décennies, une succession de périodes (de 2 à 3 années) sèches et humides a été mesurée. En particulier notons le dernier passage de la période très humide (1998-2001) à la dernière période sèche (2001-2005). Les variations d'un mois à l'autre sont fortes. Mais même au cours d'années plus sèches, des pics mensuels supérieurs à 90 mm peuvent être mesurés. Il est donc délicat de définir une loi sur la répartition des pluies dans le temps, et surtout de prédire l'apparition des pics hydrologiques.



Précipitations moyennes à Rennes (1981 - 2010) - Source : Météo-France

Sur La Bouëxière, la pluviométrie est légèrement supérieure à celle enregistrée sur Rennes, entre 700 et 800 mm.

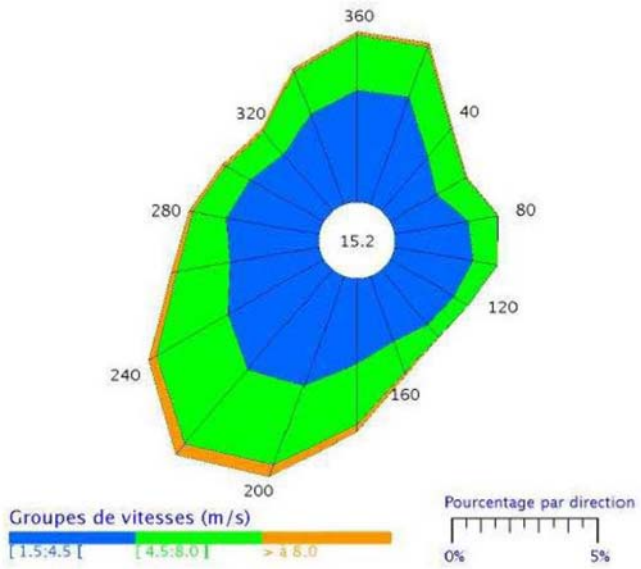


carte des isohyètes

5.4. Les vents

La rose des vents présentée ci-après, sur la période 1991 – 2010, est celle de Rennes, car les conditions anémométriques de cette ville sont proches de celles de La Bouëxière.

Le territoire est soumis à des vents modérés à forts provenant d'orientation principale Ouest/Sud-ouest.



Rose des vents à Rennes - Météo-France

L'orientation du site, l'intégration des éléments existants et la topographique du terrain permettent de définir les zones les plus exposées aux vents.

L'enjeu sur la zone est donc de protéger les bâtiments et les espaces publics des vents les plus fréquents du Sud-Ouest.

Les habitations existantes situées au sud ne permettront pas une protection contre le vent.

Sens des vents dominants et zones bâties au droit du site d'étude

6. PRESENTATION DU PROJET

6.1. Les objectifs détaillés du projet du lotissement de la Tannerie

Les principaux objectifs du projet sont les suivants :

- Faire évoluer la notion de cadre de vie. Attirer les habitants par des formes urbaines adaptés aux nouveaux usages et favoriser la densité pour préserver les espaces agricoles alentours et densifier le centre bourg.
- Favoriser un développement urbain qui favorise la mixité (différents types d'habitats).
- Varier la morphologie des parcelles, leurs caractéristiques et leur taille afin d'éviter les effets de répétition et les compositions monotones.
- Prolongement des voiries existantes au cœur du nouveau quartier. Développement d'un maillage actif articulé autour d'une colonne vertébrale : la coulée verte
- Proposer une hiérarchisation de la voirie et des connexions avec les quartiers voisins.
- Créer des circulations douces en lien avec les arrêts de bus, les circuits pour les enfants vers l'école et les chemins de randonnées présents sur la commune pour compléter le maillage
- Préserver l'identité paysagère du site
- S'appuyer sur la trame bocagère pour développer un réseau de circulations douces
- Favoriser la préservation des haies bocagères ou réaliser des compensations quand cela n'est pas le cas.
- Valoriser la zone humide dans la perspective de créer une zone de loisirs et récupérer les eaux pluviales du futur quartier.
- Gérer la convivialité en réservant des espaces pour des aires de jeux, des espaces de rencontre et des jardins familiaux.
- Gérer les eaux pluviales en minimisant l'imperméabilisation des sols, en favorisant l'infiltration et en gérant la récupération des eaux pluviales en aérien quand cela est possible.
- Créer une zone artisanale en limitant les surfaces de voirie.

Toutes ces orientations visent à inscrire le projet dans une démarche de développement durable avec l'ambition de labelliser le futur quartier en Ecoquartier.

6.2. La programmation

Le projet du lotissement de la Tannerie, comprend :

- la réalisation d'un programme à vocation d'habitat comprenant au total 279 logements
- la réalisation d'un programme à vocation artisanale de 10 lots,

Le projet s'étend sur 15,8 ha et est soumis à permis d'aménager.

Le programme de logements associe 2 typologies bâties permettant d'atteindre les objectifs de densité et de variété de tailles de logements :

- 203 constructions individuelles privées sur des lots dont la surface est comprise entre 149 et 782 m².
- 76 logements collectifs répartis sur 3 macro-lots via un bailleur social.
  - 12 logements sur le lot 20
  - 38 logements collectifs sur le lot 68
  - 26 logements sur le lot 40

Le programme de logements permet en outre de répondre à la diversité des besoins dans le parcours résidentiel en proposant des logements à la vente en « secteur libre » et des logements sociaux. De ce fait, le projet s'adresse à différentes classes d'âges et différentes catégories socioprofessionnelles, et favorise la mixité sociale et intergénérationnelle.

Le programme comprend également :

- La réalisation de la trame viaire du futur quartier (Voiries principales, voies secondaires, voie verte, cheminements piétons, …) et les réseaux associés,
- La réalisation des espaces verts (alignements d'arbres, massifs, engazonnement…),
- La réalisation des ouvrages de gestion des eaux pluviales (bassin de récupération des eaux pluviales, noues d'infiltration des eaux pluviales)

Typologie	Superficie (ha)	Nombre	Ratio	SDP moyenne (m²)	$SHON_{RT}$ moyenne estimée (m²)	$SHON_{RT}$ totale (m²)
Maisons individuelles	13,4 ha	203	73 %	110 m²	100 m²	20 300 m²
Collectifs		76	27 %	60 m²	55 m²	4 180 m²
Act Artisanales	2,4 ha	10 lots		600 m²		
TOTAL	15,8 ha					

NB : Dans la présente étude, nous allons utiliser des ratios de consommations énergétiques issus des calculs règlementaires de la RT 2012 et de la RT 2020. La surface de référence est donc la $SHON_{RT}$, elle correspond à peu près à la surface du volume chauffé. Il ne faut pas confondre la $SHON_{RT}$ et la surface de plancher (SDP). La SDP est la surface de référence officielle pour les documents d'urbanisme ; elle correspond à la somme des surfaces de planchers de chaque niveau clos et couvert d'un bâtiment, calculé à partir du nu intérieur des façades, après déduction de certains éléments s'il y a lieu. ***Pour les logements on peut considérer que la $SHON_{RT}$ correspond à environ 90% de la SDP.***

Plan de composition du projet – A3 Paysage

III. EVALUATION DES BESOINS ENERGETIQUES DU PROJET

L'étape actuelle consiste à évaluer la totalité des consommations énergétiques du futur lotissement de la Tannerie en fin d'opération.

1. USAGES ENERGETIQUES ATTENDUS

Quatre postes de consommation d'énergie sont prévisibles sur le futur lotissement :

- L'énergie liée au fonctionnement des bâtiments
- L'éclairage public
- L'énergie consommée par les transports
- L'énergie grise mobilisée par la construction des bâtiments

Pour les bâtiments, ces derniers ont des besoins énergétiques qui peuvent être décomposés en besoins de :

- chauffage
- production d'eau chaude sanitaire (ECS)
- climatisation
- électricité technique : éclairage, ventilation, circulateurs etc.
- électricité domestique : bureautique, HIFI, électroménager, cuisson, etc.
- Electricité des parties communes (éclairage, ascenseur…)

Or, le calcul réglementaire des consommations énergétiques (RT 2012) n'intègre pas les consommations d'électricité domestique ni l'énergie nécessaire à la cuisson des aliments, et pourtant, celles-ci représentent une part importante de la consommation énergétique des ménages.

Dans notre étude, en plus des usages pris en compte par la réglementation thermique (chauffage, ECS, refroidissement, électricité technique : éclairage, circulateurs, pompes, ventilateur…) nous intégrons les usages domestiques, à savoir le lavage, le froid, l'éclairage, les appareils HIFI et informatique, la cuisson, etc.).

2. EVALUATION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES ATTENDUES

2.1. Consommations énergétiques prévisionnelles du programme des logements

a) Détermination des ratios

Du fait de l'évolution de la règlementation thermique décrite dans le chapitre « Analyse du contexte », nous avons définis des hypothèses de consommations énergétiques avec le « standard » de la RT 2012 ainsi qu'avec avec la future RE 2020. En effet, en fonction des dates prévues de dépôt des permis de construire, certains bâtiments seront construits avant la mise en application de la RE2020 (courant 2021) ou leur permis de construire sera déposé avant cette date et ils seront soumis à la Réglementation Thermique 2012. Le contour de la réglementation RE 2020 ne sera défini et le périmètre ne sera arrêté que courant de l'année 2020. Ainsi, dans cette l'étude, on s'est calé sur les exemples trouvés dans la littérature (CSTB, Grenelle 1 et 2), en considérant que les bâtiments à énergie positive sont en moyenne aussi performants que les bâtiments passifs et qu'ils sont pourvus d'un système de production supplémentaire permettant une production d'énergie annuelle plus importante que leur consommation propre.
Nous avons donc comparé 2 niveaux de performance énergétique pour les futurs bâtiments :

- RT 2012 : niveau minimal réglementaire depuis janvier 2013 pour tous les logements (équivalent d'un niveau BBC au sens de la RT 2005)
- RT 2020 : niveau minimal pour les bâtiments neufs construits à partir du 1er janvier 2021

Pour déterminer les consommations finales du quartier, nous avons utilisés les ratios de consommations suivants, en fonction du type de bâtiment, par usage et suivant la performance énergétique envisagée. Ils sont présentés ci-dessous pour les bâtiments respectant la RT 2012 et ceux respectant la RE 2020 (BEPOS).

Typologie	**1 maison individuelle**		**1 appartement**	
Consommations prévisionnelles en énergie finale (kWh/m²/an)	***RT 2012***	***BEPOS***	***RT 2012***	***BEPOS***
Chauffage	32	18	30	16
Eau chaude sanitaire	25	20	25	20
Electricité technique	9	8	9	8
Electricité domestique	30	24	30	24
TOTAL pour l'ensemble des usages	***96***	***70***	***94***	***68***

Tableau des ratios de consommations des bâtiments

b) Estimations des consommations énergétiques par logement, par type de logements et de performance énergétique

Les niveaux de performance énergétique permettent de déduire des consommations prévisionnelles pour chaque typologie de bâtiment, à partir de la $SHON_{RT}$.

La surface de référence est donc la $SHON_{RT}$, elle correspond à peu près à la surface du volume chauffé. Il ne faut pas confondre la SHONRT et la surface de plancher (SDP). La SDP est la surface de référence officielle pour les documents d'urbanisme ; elle correspond à la somme des surfaces de planchers de chaque niveau clos et couvert d'un bâtiment, calculé à partir du nu intérieur des façades, après déduction de certains éléments s'il y a lieu.

Pour les logements on peut considérer que la SHONRT correspond à environ 90% de la SDP.

Les hypothèses de surface de plancher sont rappelées ci-dessous :

- Collectif : SDP = 60 m², $SHON_{RT}$ = 55 m² environ
- Maison individuelle : SDP= 110 m², $SHON_{RT}$ = 100 m² environ

Typologie	**1 maison individuelle**		**1 appartement**	
SHON RT (m²)	**100 m²**		**55 m²**	
Consommations prévisionnelles en énergie finale (kWh /an)	***RT 2012***	***BEPOS***	***RT 2012***	***BEPOS***
Chauffage	3200	1800	1650	880
Eau chaude sanitaire	2500	2000	1375	1100
Electricité technique	900	800	495	440
Electricité domestique	3000	2400	1650	1320
TOTAL	**9600**	**7000**	**5170**	**3740**

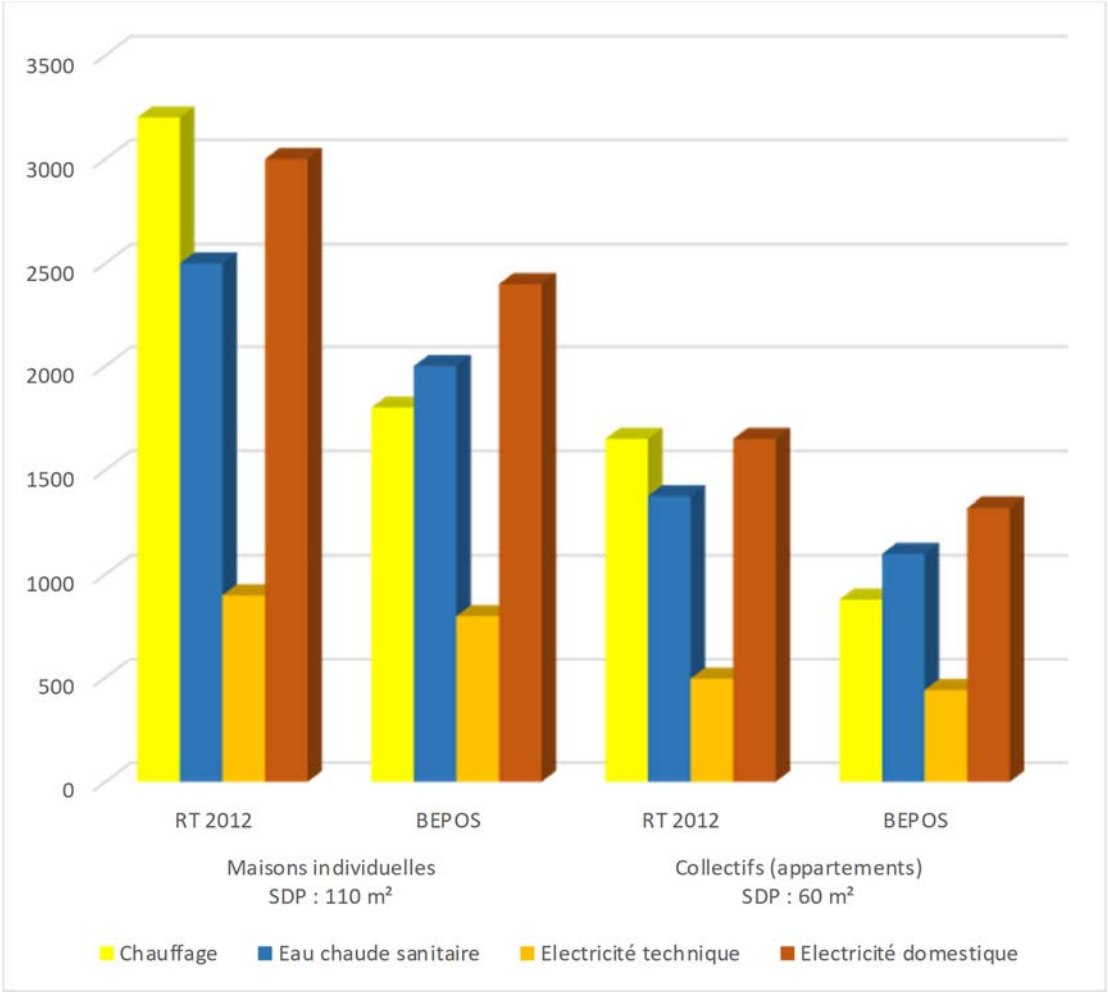
Estimations des consommations finales prévisionnelles par logement, en fonction du type et de la performance énergétique

Le graphique suivant compare les consommations prévisionnelles d'un logement, par type de logements et par type de réglementation thermique (RT 2012 et BEPOS). Il permet de dire qu'une maison individuelle est un plus gros consommateur d'énergie qu'un appartement.

L'électricité domestique (lavage, froid, éclairage, appareils HIFI et informatique, cuisson, etc.) et l'électricité technique (éclairage, ventilation, circulateurs, …) représentent une part non négligeable des consommations énergétiques puisqu'elles représentent à elles deux 40 à 50 % de la consommations totale finale d'une habitation.

En outre, la RE 2020 (BEPOS) permet de réduire de façon importante les consommations d'énergies par rapport à la RT2012. En moyenne, un logement en RE2020 consomme 30 % d'énergie en moins qu'un logement respectant la RT 2012.

Les économies se font surtout sur le chauffage, l'électricité domestique et sur l'eau chaude sanitaire.



Estimations des consommations finales prévisionnelles par logement, en fonction du type et de la performance énergétique

c) Estimations des consommations énergétiques finales du programme de logements

Le programme du lotissement de la Tannerie comprend la construction de 203 logements individuelles et de 76 logements collectifs.

Ainsi, la consommation énergétique totale pour le programme de logements serait de 2 342 MWh par an pour le scénario RT 2012 et 1 705 MWh/an pour la RE 2020 (BEPOS).

La RE 2020 permet une diminution de près de 29 % des consommations énergétiques par apport à la RT 2012.

Typologie	Maisons individuelles		Collectifs (appartements)	
Nombre de logements	203		76	
Consommations prévisionnelles en énergie finale (kWh ef/an)	*RT 2012*	*BEPOS*	*RT 2012*	*BEPOS*
Consommations prévisionnelles en énergie finale (kWh ef/an/logement)	9 600	7 000	5 170	3 740
Consommations prévisionnelles en énergie finale (kWh ef/an) du programme de logement	**1 948 800**	**1 421 000**	**392 920**	**284 240**
Consommations prévisionnelles en énergie finale (MWh ef /an) du programme de logement	**1 949**	**1 421**	**393**	**284**

RT 2012	**2 342**	**MWh ef/an**
BEPOS	**1 705**	**MWh ef/an**

Estimations des consommations énergétiques finales prévisionnelles du programme de logements

2.2. Consommations prévisionnelles du programme des activités artisanales

Le programme du lotissement comprend l'aménagement de 10 lots à vocation d'activités artisanales / PME.

Contrairement des bâtiments à usage d'habitat, les bâtiments à usage artisanal ont des besoins énergétiques différents et qui peuvent être décomposés comme ci-après. :

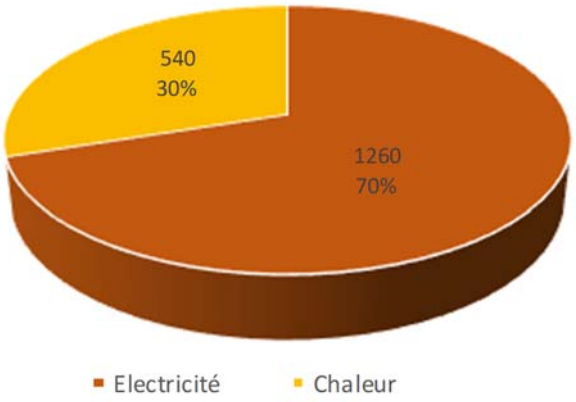
- Chaleur : chauffage, eau chaude, vapeur
- Froid : climatisation, chambre froide
- Electricité spécifique : éclairage, ventilateurs, circulateurs, pompes, machines-outils, moteurs etc.

Les entreprises qui viendront s'implanter sur la zone ne sont pas connus aujourd'hui. Ainsi, il est difficile de prévoir le type d'entreprise, le nombre de salariés, le procédé utilisé et les consommations énergétiques finales. En effet, la disparité des besoins énergétiques, d'une activité à une autre, est très importante.

Pour proposer des consommations finales potentielles, nous avons pris en compte que :

- Le nombre d'entreprises à venir s'implanter : 10 entreprises (10 lots).
- Une surface de plancher moyenne estimée de 600 m², soit une SDP totale de 6000 m².
- Un ratio de 300 kWh/m² de SDP (artisanat) dont 30 % en chaleur et 70 % en électricité

Typologie	Artisanat / PME
SDP totale (m²)	**6000 m²**
Ratio utilisé pour ce type de bâtiment	300 kWh/m²
Electricité (70 %)	1 260 MWh
Chaleur (30 %)	540 MWh
Consommation TOTALE prévisionnelle en énergie finale (MWh ef /an) du programme d'activités artisanales	**1 800 MWh**



Estimations des consommations énergétiques finales prévisionnelles du programme d'acticvités

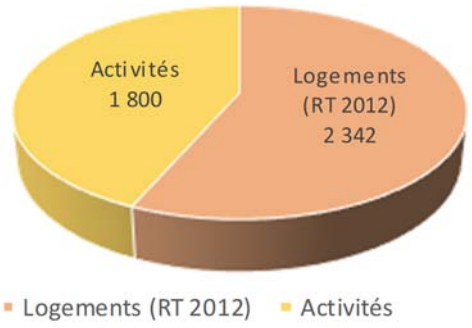
En définitive, en prenant en compte les hypothèses ci-dessus, la consommation d'énergie finale du programme des activités artisanales s'élèverait à environ 1 800 MWh/an.

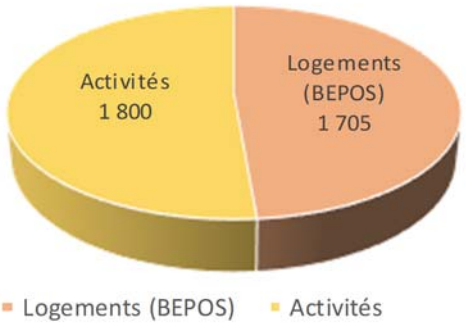
2.3. Consommations prévisionnelles de l'ensemble du lotissement de la Tannerie : logements + activités artisanales

Finalement, en ajoutant les consommations énergétiques du programme de logements à celles du programme des activités artisanales, on obtient une consommation finale du lotissement de la Tannerie de 4142 MWh/an (pour la RT 2012) et de 3 505 MWh/an (pour la RE 2020 : BEPOS)

Consommation TOTALE prévisionnelle en énergie finale (MWh ef /an) du programme de logement	2 342 (RT2012)	1 705 (BEPOS)
Consommation TOTALE prévisionnelle en énergie finale (MWh ef /an) du programme d'activités artisanales	1 800	
Consommation TOTALE prévisionnelle en énergie finale (MWh ef /an) du lotissement	**4 142**	**3 505**

Estimations des consommations énergétiques finales prévisionnelles du lotissement de la Tannerie





Aucune énergie renouvelable mobilisable sur le site ne permettrait de remplir seule les objectifs fixés en matière de performance énergétique. Un mix énergétique est donc à développer et sa répartition est à optimiser en fonction des atouts et défauts de chacune et selon les niveaux de mutualisation recherché.

La réduction des consommations du lotissement serait également à prendre ne compte. Pour réduire considérablement les consommations, un cahier des charges contraignant pour les concepteurs pourrait être fixé, et les habitants sensibilisés et accompagnés.

IV. ETUDE D'OPPORTUNITE DE CREATION D'UN RESEAU DE CHALEUR ALIMENTE PAR LES ENERGIES RENOUVELABLES

1. PREAMBULE

Dans le cadre de la présente étude de faisabilité EnR, nous devons étudier la possibilité de créer ou de raccorder le futur quartier à un réseau de chaleur ou de froid. De plus en plus de collectivités souhaitent développer ces réseaux de chaleur, même dans un contexte urbain peu dense. L'optimisation énergétique n'est alors pas le premier facteur décisionnel. L'aménagement du territoire, la mobilisation de ressources locales comme le bois énergie, la mise en place de filières économiques locales créatrices d'emploi de proximité et non délocalisables sont quelques-uns de ces facteurs.

Dans un premier temps, il y a lieu d'étudier les opportunités de raccorder le lotissement de la Tannerie à un réseau de chaleur existant situé à proximité. En l'occurrence, aucun réseau de chaleur n'est situé à proximité pour permettre au lotissement de se raccorder. Aucune opportunité de raccordement n'est donc envisageable. Ainsi, il ne s'agira donc pas d'un potentiel de raccordement mais d'une création.

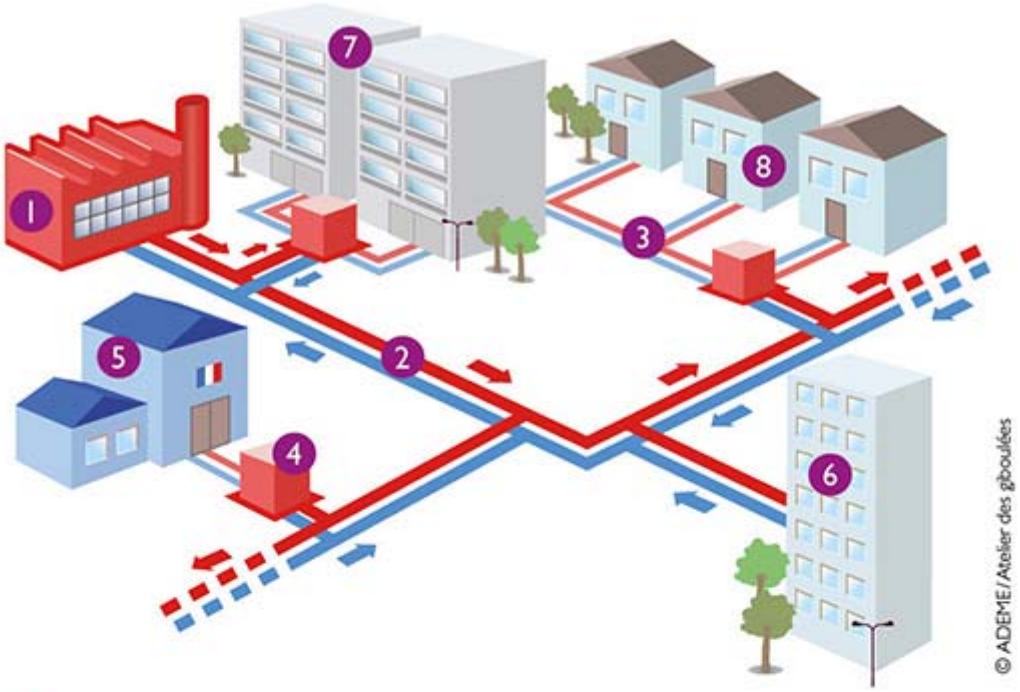
2. QU'EST-QU'UN RESEAU DE CHALEUR ?

2.1. Définitions, principes de fonctionnement

Un réseau de chaleur est un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur à plusieurs bâtiments pour répondre aux besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire.

Des unités de production de chaleur de grande taille chauffent de l'eau ou la vapeur qui est ensuite distribuée dans la ville ou le quartier pour chauffer les bâtiments. Il est ainsi possible d'exploiter de façon centralisée un mix énergétique. Le réseau est constitué ainsi :

- 1/ Unité de production de chaleur : usine d'incinération des ordures ménagères, chaufferie alimentée par un combustible (gaz, bois, fuel...), centrale géothermique...
- 2/ Réseau de distribution primaire : composé des canalisations dans lesquelles circule la chaleur. Un circuit transporte le fluide caloporteur (vapeur, eau chaude...) au pied des bâtiments raccordés, un autre ramène le fluide refroidi à l'unité de production pour qu'il soit à nouveau chauffé.
- 3/ Réseau de distribution secondaire : géré par le responsable de l'immeuble (le syndic en copropriété ou le bailleur social par exemple), assure la répartition de la chaleur du réseau de chaleur entre les différents logements.
- 4/ Sous-station : située au pied de l'immeuble, permet de transférer la chaleur du réseau primaire au réseau secondaire.
- 5-6-7-8/ Bâtiments



1. **Unité de production de chaleur** : *usine d'incinération des ordures ménagères, chaufferie alimentée par un combustible (gaz, bois, fuel…), centrale géothermique…*
2. **Réseau de distribution primaire** : *composé des canalisations dans lesquelles circule la chaleur. Un circuit transporte le fluide caloporteur (vapeur, eau chaude…) au pied des bâtiments raccordés, un autre ramène le fluide refroidi à l'unité de production pour qu'il soit à nouveau chauffé.*
3. **Réseau de distribution secondaire** : *géré par le responsable de l'immeuble (le syndic en copropriété ou le bailleur social par exemple), assure la répartition de la chaleur du réseau de chaleur entre les différents logements.*
4. **Sous-station** : *située au pied de l'immeuble, permet de transférer la chaleur du réseau primaire au réseau secondaire.*
5. *Bâtiment public*
6. *Immeuble de bureaux*
7. *Logements collectifs*
8. *Logements individuels*

→ *Distribution de chaleur (eau chaude)*

→ *Retour de l'eau refroidie*

Schéma de principe d'un réseau de chaleur – Source : ADEME

3. INTERETS D'UN RESEAU DE CHALEUR :

L'intérêt d'un réseau de chaleur repose sur les économies d'échelle et de ressources apportées par la mutualisation :

- mutualisation de la livraison du combustible :
- réduction des émissions de gaz à effet de serre liées au transport
- réduction des nuisances sonores et olfactives
- mutualisation de l'investissement et de l'entretien : un système de production de chaleur pour l'ensemble des bâtiments de la ZAC
- économie sur le prix d'achat de la chaleur qui doit être compétitive avec les énergies traditionnelles (gaz, électricité).

L'opportunité de recours à un réseau de chaleur s'étudie au regard : -

- de la densité desservie : distance entre deux bâtiments desservis la plus courte possible pour limiter les déperditions de chaleur.
- de la demande en chaleur : un fort besoin en chaleur apportera un temps de retour sur investissement plus rapide.
- la proximité de la ressource, liée à la pérennité des filières locales.

ATOUTS	CONTRAINTES
• Economies d'énergie par la mutualisation des besoins • Possibilité d'alimentation par un mix énergétique varié • La mobilisation de différentes ressources énergétiques permet de garantir une stabilité des prix, une sécurité d'approvisionnement et d'assurer une certaine flexibilité	• Nécessité d'un nombre suffisant de bâtiments raccordés pour la rentabilité de l'installation • Investissement spécifique au réseau, à la chaufferie et au stockage du combustible ; • Difficulté du dimensionnement, notamment lié au phasage d'opérations sur un quartier neuf.

Atouts / contraintes d'un réseau de chaleur

4. NOTION DE DENSITE ENERGETIQUE

Afin de déterminer en première approche l'opportunité d'un réseau de chaleur à l'échelle d'un quartier, la valeur de la densité énergétique du futur réseau est utilisée comme indicateur. La densité énergétique correspond à la consommation d'énergie sur un périmètre donné. Plus une zone de faible étendue comprend des bâtiments forts consommateurs, plus il sera pertinent de mettre un réseau de chaleur. Plus la valeur de la densité énergétique est importante plus le réseau est rentable car il nécessite un investissement initial et des coûts de fonctionnement moindres pour une production d'énergie équivalente. On admet que la densité minimum pour espérer rentabiliser un réseau de chaleur est, en zone rurale, de 1,5 MWh/ml (ou 1500 GWh/ml). En zone urbaine on considère plutôt 3 MW/ml (Mégawattheure/mètre). Avec une densité de 1 MWh/ml cela signifie qu'un bâtiment consommant 100 MWh devra se trouver à moins de 100 m du réseau de chaleur. L'implantation d'un réseau est principalement liée à cette densité énergétique : les zones proches de « gros consommateurs » seront susceptibles d'être plus adaptées à un réseau de chaleur et donc à une chaufferie centralisée que les zones peu consommatrices et diffuses.

5. ETUDE D'OPPORTUNITE

Pour valider la pertinence d'un réseau de chaleur, plusieurs questions doivent être posées :

- Quels sont les bâtiments concernés ?
- Quel est leur ratio de consommation ?
- Quelle est leur surface ?
- Quelle densité minimale prendre pour la zone considérée ?

Le tableau suivant reprend les éléments clés qui ont permis de valider la pertinence d'un projet de réseau de chaleur sur le site de la Tannerie.

Typologie	**Pour 1 maison individuelle**		**Pour 1 collectif comprenant 13 appartements**		**Act. Artisanales**
Réglementation	*RT 2012*	*BEPOS*	*RT 2012*	*BEPOS*	
Consommations prévisionnelles en énergie finale (kWh/m²/an) de chauffage + ECS	57	38	55	36	90
Surface (m²) = S	100	100	715*	715*	600
Consommation du bâtiment (MWh/an) = C	6	4	39	26	54
Choix d'une densité minimale pour la zone considérée (MWh/ml)= Dmin	1,5				
Longueur maximale de raccordement au réseau de chaleur Lmax (m) = C/D min	4	3	26	17	36
Périmètre dans lequel doit passer le réseau de chaleur (ml)	Cercles de rayons respectifs = R (ml)				
	4 m	**3 m**	**26 m**	**17 m**	**36 m**

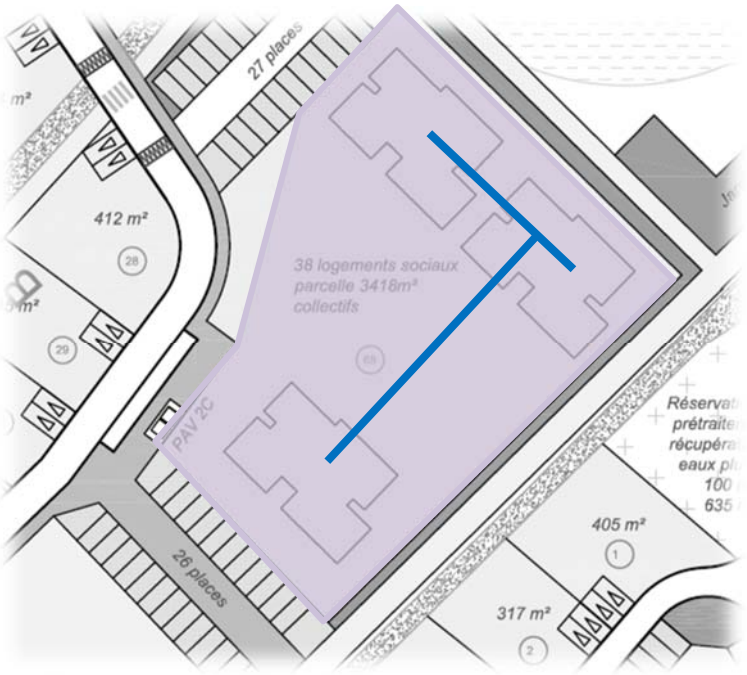
** La surface d'un immeuble a été estimée à partir des éléments ci-dessous :*
Un immeuble regroupe 13 appartements en moyenne
1 appartement a une SHON RT de 55 m² (60 m² de SDP)
Ainsi, la surface totale d'un immeuble est de 715 m² (55 m² x 13)

La carte ci-dessous représente la valeur seuil des 1 500 kWh/ml/an. Les bâtiments potentiellement « raccordables » au réseau sont ceux dont les cercles se chevauchent. Les cercles ne se chevauchant pas tous, en particulier sur les zones d'habitat individuel. Il est d'ailleurs rare de raccorder des logements individuels à un réseau de chaleur. La création d'un réseau de chaleur à l'échelle de l'ensemble du lotissement n'est donc pas envisageable.

Néanmoins, les collectifs et la zone d'activités artisanales présentent des densités énergétiques plus importantes, susceptibles de permettre d'envisager la réalisation d'un réseau de chaleur.

Analyse qualitative de la densité énergétique

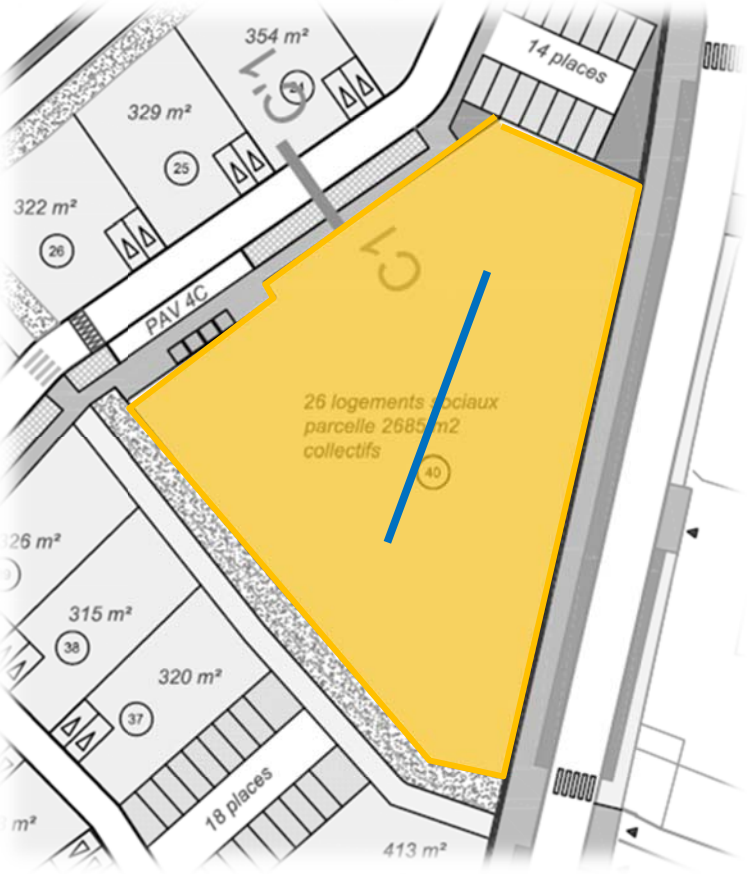
Plusieurs configurations de micro-réseau de chaleur ou chaufferies mutualisées sont étudiées autours des bâtiments de logements collectifs et des bâtiments à vocation artisanale.



- 3 collectifs de 13 appartements = 39 appartements
- Consommation totale :117 000 kWh
- Linéaire de réseau : 67 m

Densité énergétique de 1 750 kwh (ml.an)

La création d'un réseau de chaleur est pertinente sur cet ilot



- 2 collectifs de 13 appartements = 26 appartements
- Consommation totale :78000 kWh
- Linéaire de réseau : 34 m

Densité énergétique de 2294 kwh (ml.an)

La création d'un réseau de chaleur est pertinente sur cet ilot

- 10 bâtiments à usage artisanal
- Consommation totale :540 000 kWh
- Linéaire de réseau : 500 m

Densité énergétique de 1080 kwh (ml.an)

La création d'un réseau de chaleur à l'échelle du parc d'activités artisanale n'est pas envisageable

En définitive, il n'est pas pertinent d'envisager la création d'un réseau de chaleur pour les maisons individuelles et la zone d'activités.

En revanche, les configurations de réseaux montrent une densité supérieure au critère minimum de 1 500 kWh/ml/ pour les logements collectifs.

L'utilisation de la ressource bois sous forme de bois déchiqueté peut être envisageable pour alimenter une chaufferie centrale commune à l'ensemble des collectifs. La chaleur produite serait ensuite distribuée dans les logements via un réseau de chaleur et des sous-stations (une par bâtiment). Les chaudières bois sont de préférence dimensionnées à seulement 50% de la puissance maximum afin de couvrir 80% des besoins thermiques annuels. L'appoint et le secours s'effectuent via une chaudière fonctionnant au gaz. Un module de cogénération peut être couplé à la chaufferie, sa productivité est favorisée par la continuité du fonctionnement de la chaufferie 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.

Pour poursuivre la réflexion sur le réseau de chaleur, il sera nécessaire de réaliser, dans le cadre des études réalisation, une étude spécifique de faisabilité en intégrant les éléments précis liés aux futurs bâtiments, leur implantation, la gestion du futur réseau et la prise en compte plus fine des possibilités en matière d'approvisionnement en énergie.

L'objectif de cette étude sera :

- De déterminer le montage technique, fonctionnel et dimensionnel de l'opération, et notamment le périmètre exact de raccordement et la composition du mixte énergétique alimentant le réseau
- De déterminer son montage juridique et financier, et notamment d'apporter une aide à la décision concernant les forces et faiblesses de chaque mode de réalisation et de gestion.

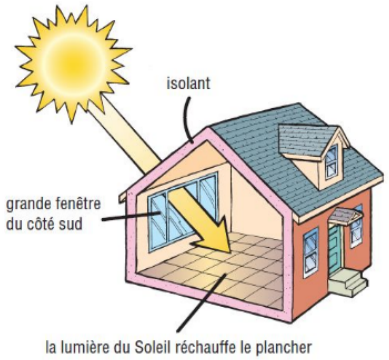
Cette étude devra obligatoirement prendre en considération les spécificités liées au projet d'aménagement, et notamment la densité thermique réduite.

V. IDENTIFICATION DES ENERGIES RENOUVELABLES POTENTIELLEMENT UTILISABLES

1. LE SOLAIRE PASSIF

A la différence de l'énergie solaire active qui consiste à capter le rayonnement du soleil pour le transformer en chaleur (solaire thermique) ou en électricité (solaire photovoltaïque), l'énergie solaire passive est la technique qui permet à l'énergie solaire d'être exploitée directement sans avoir à la traiter. En fonction de la conception architecturale de la construction, la consommation d'énergie naturelle peut être considérablement améliorée grâce à l'apport direct du rayonnement solaire. Dans la conception des bâtiments solaires passifs, les fenêtres, les murs et les planchers sont conçus pour recueillir, stocker et distribuer l'énergie solaire sous forme de chaleur en hiver et rejeter la chaleur solaire en été.

Le système solaire « passif »



Le bâtiment lui-même est au cœur du projet de création d'énergie solaire passive. Son orientation est spécialement étudiée pour recevoir le plus de rayonnement possible. Ainsi, dans le cadre du projet, le plan masse a été réalisé de manière à maximiser le nombre de parcelles individuelles orientées Nord-Sud pour favoriser l'optimisation des apports solaires. Les constructions s'implanteront de manière à bénéficier d'un ensoleillement maximal et optimiser les dispositifs de captation solaire, suivant le principe du schéma ci-contre, relatif aux masques solaires. Même la disposition des pièces joue sur la capacité du rayonnement solaire à chauffer le bâtiment. Les pièces qui nécessitent peu de chauffage comme les espaces de rangement, la buanderie, les toilettes, sont idéalement placées au nord. Les pièces de vie comme le salon, la cuisine, la salle à diner, sont idéalement placées au sud. Les chambres doivent de préférence être placées sur le long de la façade est, ainsi on évite la surchauffe possible des fins de journée. Enfin, les matériaux utilisés sont conçus pour capter et emmagasiner l'énergie du soleil. La chaleur produite est alors diffusée de façon uniforme pour un confort optimal. C'est ce qu'on appelle la conception solaire passive car elle n'implique pas l'utilisation de dispositifs mécaniques et électriques. Ainsi, en tirant parti des conditions du site et de son environnement, la consommation énergétique sera réduite et l'apport solaire gratuit valorisé.

Pour résumer, l'énergie solaire passive, c'est l'utilisation dans le domaine architectural de la chaleur gratuite du soleil. Le solaire passif s'articule autour de quatre paramètres essentiels :

- le plan du bâtiment passif: orientation du bâtiment, forme du bâti, orientation des pièces, répartition des ouvertures, …
- une isolation et une inertie thermique performantes : isolation en couches sélectives ou isolation translucide ;
- des choix précis de matériaux et de fournitures : fenêtre triple vitrage, toiture végétale, etc. ;
- une ventilation écologique et efficace : VMC double flux, puits canadien.

Ainsi, construire des bâtiments peu consommateurs d'énergie passe obligatoirement par l'optimisation des apports solaires passifs pour limiter les besoins en chauffage en hiver et les inconforts dus aux surchauffes estivales.

***Pour plus de précisions, voir ANNEXES – Fiche 1 – Le solaire passif*.**

2. LE SOLAIRE THERMIQUE (EAU CHAUDE SANITAIRE, CHAUFFAGE)

2.1. Le fonctionnement général du solaire thermique

Le solaire thermique est un dispositif solaire qui convertit le rayonnement du soleil en chaleur pour produire de l'eau chaude.

L'énergie solaire thermique est une énergie renouvelable consistant à produire de l'eau chaude sanitaire (chauffe-eau solaire individuel - CESI), mais elle peut aussi participer au chauffage des bâtiments (système solaire combiné - SSC) par le biais de systèmes de chauffage basse température. Elle se distingue du solaire photovoltaïque qui lui produit de l'électricité à partir du rayonnement solaire.

Enfin, il existe aussi le Chauffe-Eau Solaire Collectif (CESC) qui permet de fournir l'eau chaude sanitaire et également de couvrir les besoins de chauffage des logements collectifs dans le neuf ou en rénovation.

Le système de panneau solaire thermique consiste à chauffer de l'eau à partir de l'énergie solaire. Les panneaux solaires thermiques contiennent des capteurs thermiques qui transforment l'énergie du soleil en chaleur. Cette eau chaude sera ensuite utilisée de trois façons possibles :

- en tant qu'eau chaude sanitaire ;
- dans un système de chauffage central à eau chaude ;
- dans un système combiné associant eau chaude sanitaire et chauffage central.

Ces systèmes peuvent couvrir jusqu'à 60% des besoins en eau chaude sanitaire et 40% des besoins en eau chaude et chauffage annuel, aussi bien dans les régions ensoleillées que dans les régions plus froides.

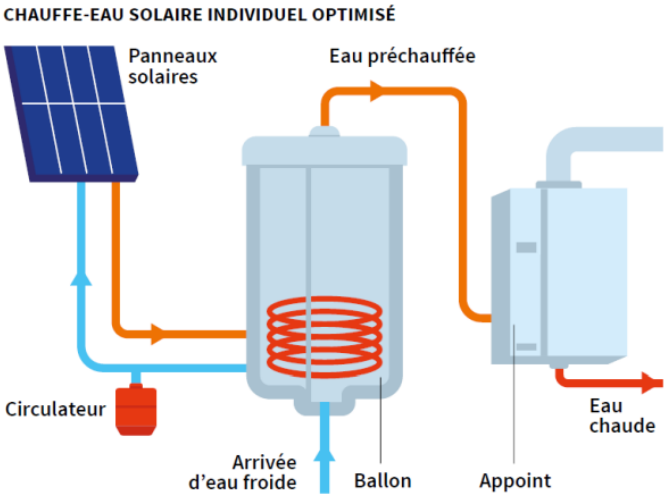
L'installation de panneaux solaires thermiques permet d'utiliser les rayons du soleil pour les transformer en chaleur. Ces panneaux sont composés d'un coffre rigide et vitré renfermant une plaque et des tubes métalliques noirs, nommés absorbeurs. Ces derniers captent en effet le rayonnement solaire qui sert ensuite à chauffer soit un liquide caloporteur (antigel ou eau) soit de l'air.

Généralement, les capteurs sont plats et s'installent au sol, sur une terrasse ou sur un toit selon une inclinaison de 30 à 60 degrés pour une orientation allant du Sud-Est au Sud-Ouest afin de mieux capter les rayons solaires.

2.2. Le Chauffe-Eau Solaire Individuel (CESI)

Le chauffe-eau solaire individuel, souvent abrégé CESI produit de l'eau chaude sanitaire. C'est généralement le système le plus adapté aux maisons individuelles. Il est composé de deux éléments : des panneaux solaires thermiques et un ballon de stockage d'eau

Le chauffe-eau solaire individuel (CESI) fonctionne à l'aide d'un liquide caloporteur qui transmet sa chaleur à l'eau sanitaire par le biais d'une spirale nommée "échangeur thermique". Lorsque toute sa chaleur est épuisée, le caloporteur remonte vers les capteurs pour être de nouveau réchauffé. L'eau chaude sanitaire se stocke dans un ballon. Pour pallier un éventuel défaut d'ensoleillement, on peut compléter cette installation avec une résistance électrique ou avec un deuxième échangeur thermique relié à une chaudière traditionnelle (au gaz, au fioul ou au bois). Le chauffe-eau solaire individuel peut donc s'envisager en complément d'une installation de chauffage déjà existante.



Fonctionnement d'un CESI

ATOUTS	CONTRAINTES
• Energie inépuisable et non polluante. • Energie propre qui ne dégage pas de gaz à effet de serre • Bien adapté aux besoins en ECS de l'habitat • Permet souvent l'arrêt total de la chaudière principale pendant l'été et durant une partie de la mi- saison. • Durée de vie de 15-20 ans minimum • Peu de frais de maintenance et de fonctionnement • Intéressant pour les bâtiments gros consommateurs d'eau chaude	• Permet de fournir entre 40 et 70% des besoins en eau chaude de l'habitat : • Energie intermittente qui nécessite un système de chauffage d'appoint. • Nécessite un minimum de besoins en période estivale • Peu adapté aux établissements fermés en période estivale (écoles...) et aux bâtiments peu consommateurs d'ECS (immeubles de bureaux). • Local spécifique nécessaire pour l'installation collective • Stockage de la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes. • Implantation préférentielle des capteurs au sud avec inclinaison de 36 à 45°

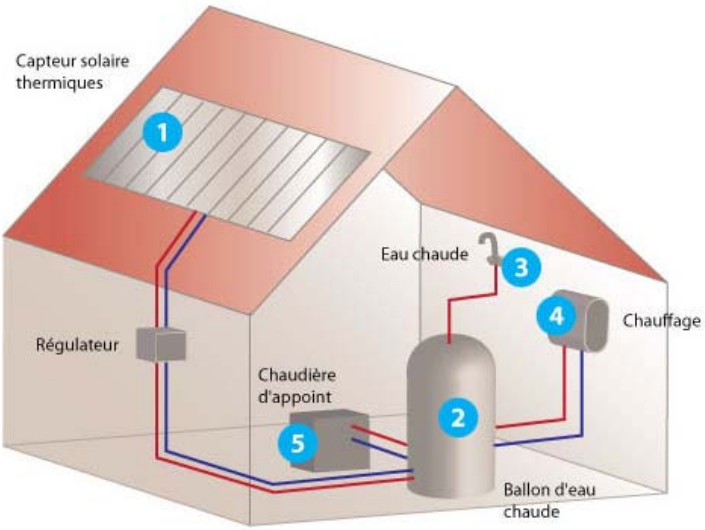
Atouts et contraintes du Chauffe-Eau Solaire Individuel (CESI)

2.3. Le Système solaire combiné (SSC)

Le chauffage solaire, ou Système Solaire Combiné (SSC) est l'autre utilisation la plus courante du solaire thermique.

Le système solaire combiné (SSC) ressemble beaucoup au chauffe-eau solaire : grâce à l'énergie solaire, il permet de produire de l'eau chaude sanitaire… Mais ce n'est pas tout ! **La particularité de ce système réside dans le fait qu'il peut également chauffer le bâtiment, toujours grâce au soleil.**

Dans ce cas, votre chauffe-eau solaire est relié à plusieurs circuits. Il alimente ainsi votre ballon d'eau chaude sanitaire, vos radiateurs à eau et/ou votre parquet chauffant.



Fonctionnement d'un SSC

Le principe reste inchangé : un fluide caloporteur est chauffé grâce à des panneaux solaires thermiques. Ce fluide retransmet ensuite cette chaleur via un échangeur thermique à l'eau contenue dans votre ballon d'eau chaude. Un autre un fluide caloporteur est chauffé par les panneaux solaires thermiques. Une fois chaud, il est injecté dans un circuit de chauffage central, un équipement indispensable pour utiliser un SSC.

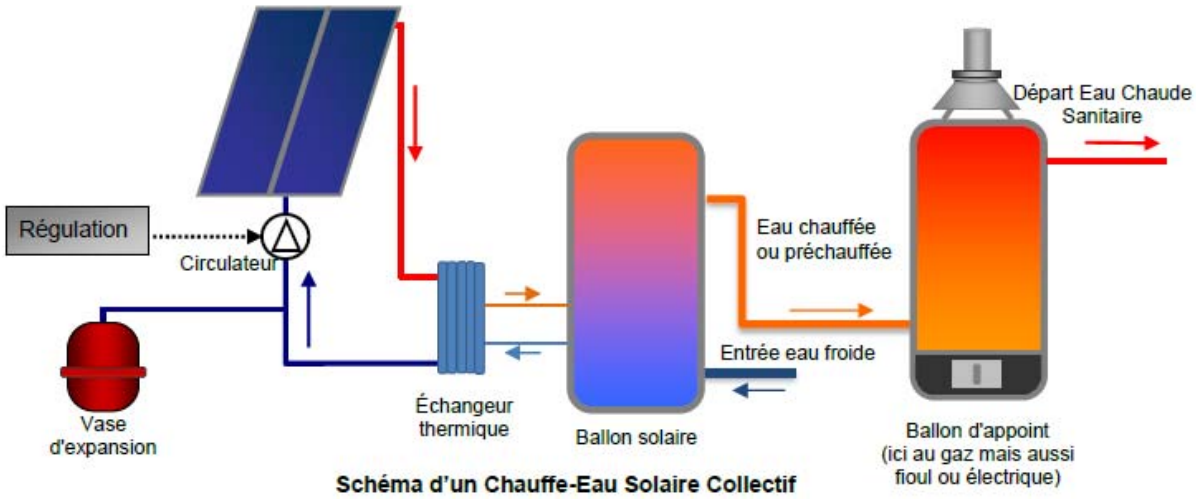
ATOUTS	CONTRAINTES
• Energie inépuisable et non polluante. • Energie propre qui ne dégage pas de gaz à effet de serre • Peu d'entretien • Bien adapté aux besoins en ECS de l'habitat • Permet souvent l'arrêt total de la chaudière principale pendant l'été et durant une partie de la mi- saison. • Durée de vie de 15-20 ans minimum • Peu de frais de maintenance et de fonctionnement	• Nécessite de disposer d'un circuit de chauffage central • Permet de fournir entre 40 et 70% des besoins en eau chaude de l'habitat et entre 25 et 50% des besoins en chauffages : Ne couvre pas 100 % des besoins. • Complexité de la pose • Energie intermittente qui nécessite un système de chauffage d'appoint. • Nécessite un minimum de besoins en période estivale • Inadapté aux établissements fermés en période estivale (écoles…) • Risque de surchauffe des équipements si surdimensionnement • Coût d'investissement relativement élevé.

Atouts et contraintes des Systèmes solaires combinés (SSC)

2.4. Le Chauffe-Eau Solaire collectif (CESC)

Un Chauffe-Eau Solaire Collectif (CESC) est une installation utilisée dans les logements collectifs afin de réduire les consommations d'énergie liées à la production d'eau chaude sanitaire en tirant partie de l'énergie solaire.

C'est à la surface du panneau que le rayonnement solaire est converti en chaleur. Un liquide caloporteur circule dans l'absorbeur et transmet sa chaleur via un échangeur à l'eau chaude sanitaire. Le circuit solaire est donc totalement indépendant du circuit consommateur.



Fonctionnement d'un CESC

Il est toujours nécessaire de recourir à un appoint, l'énergie solaire ne pouvant pas couvrir l'intégralité des besoins (en particulier en hiver) : un ballon de stockage solaire est généralement placé en amont d'un équipement d'appoint qui assure le maintien en température de consigne de l'eau chaude.

Pour des logements collectifs, il est possible de mettre en place une installation collective individualisée : les capteurs sont collectifs, mais les ballons de stockage et les appoints se situent dans chaque appartement (chauffe-eau solaire collectif à appoint et stockage individualisé : CESCI). Une autre configuration est possible avec un ballon de stockage collectif et des appoints individuels (chauffe-eau solaire collectif à stockage collectif et appoint individualisé : CESCAI).

2.5. Le coût d'une installation solaire thermique

a) Les coûts d'installation

Une installation solaire thermique est composée :

- De panneaux ;
- D'un cumulus de contenance variable.

Voici quelques ordres de grandeur du prix d'un chauffe-eau solaire :

- 1 panneau et 1 ballon de 200 L : 4 000 €
- 2 panneaux et 1 ballon de 300 L : 6 000 €
- 4 panneaux et 1 ballon de 800 à 1 000 L : 10 000 €

Ce coût prend en compte les différentes composantes de votre installation :

- Panneaux solaires
- Supports
- Ballon de stockage
- Groupe de transfert
- Raccordement
- Système de suivi
- La pose par un professionnel.

A titre d'information : une famille de 3 à 4 personnes a besoin d'un ballon de 300 L ainsi que de 2 panneaux pour obtenir des résultats satisfaisants. Soit un investissement de 6 000 € TTC.

Un chauffe-eau solaire est donc bien plus cher qu'un chauffe-eau classique, mais permet de faire de réelles économies par la suite.

b) Les coûts de fonctionnement

Le chauffe-eau solaire est conçu pour durer, au minimum, une vingtaine d'année. Mais pour cela, il nécessite un entretien régulier des indicateurs d'alerte et/ou de défaut ce qui permet d'assurer le maintien de la performance initiale de l'installation dans le cadre d'une simple maintenance de l'installation. La visite d'un professionnel est recommandée tous les ans (voire deux ans).

c) Les aides possibles pour financer son projet

- *Le crédit d'impôt pour la transition énergétique*

Contrairement au solaire photovoltaïque, les installations de panneaux solaires thermiques bénéficiaient encore d'un crédit d'impôt pour la transition énergétique (CITE) de 30 % du montant du matériel.

A compter du 1er janvier 2020, le CITE à 30% disparaît au profit d'une prime forfaitaire pour les ménages modestes et d'un crédit d'impôt forfaitaire pour les autres ménages.

- *Eco-prêt taux zéro (Eco-PTZ)*

Il est également possible de bénéficier d'un prêt à taux zéro afin de financer des travaux d'éco-rénovation dans la limite de 30 000 €. Pour en bénéficier, il faut respecter plusieurs conditions :

- Les travaux doivent-être réalisés par un ou plusieurs installateurs qualifiés RGE « Reconnu Garant de l'Environnement » ;
- Si vous êtes en métropole, les travaux doivent être réalisés sur votre résidence principale et celle-ci doit avoir été construite avant le 1er janvier 1990 ;

- *TVA à 5,5 %*

Enfin, les installations de panneaux solaires thermiques profitent d'une TVA réduite. Pour en bénéficier, les travaux de rénovation énergétique doivent être effectués dans des locaux à usage d'habitation uniquement.

- *Aides de l'ANAH*

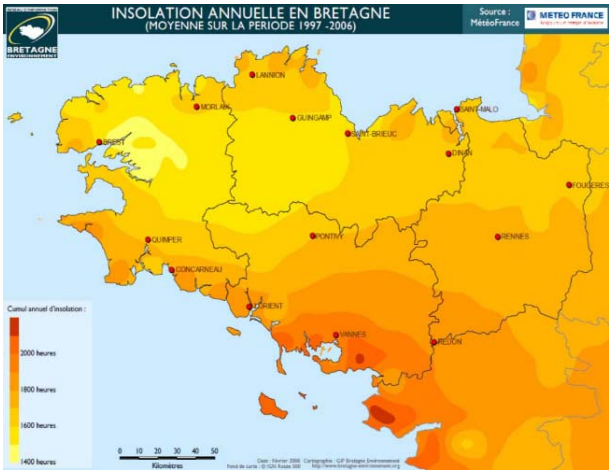
D'autres aides restent cependant en place en réduisant l'investissement de départ, **notamment les aides de l'Anah (uniquement pour les propriétaires**).

2.6. Le contexte climatique local

a) L'ensoleillement sur la région rennaise

L'ensoleillement du territoire et les données météorologiques constituent le gisement brut des filières solaire thermique. D'après les données de Météo France, la région rennaise présente un ensoleillement moyen de 1756 heures par an.

Cet ensoleillement est suffisant pour permettre une utilisation de l'énergie solaire thermique.

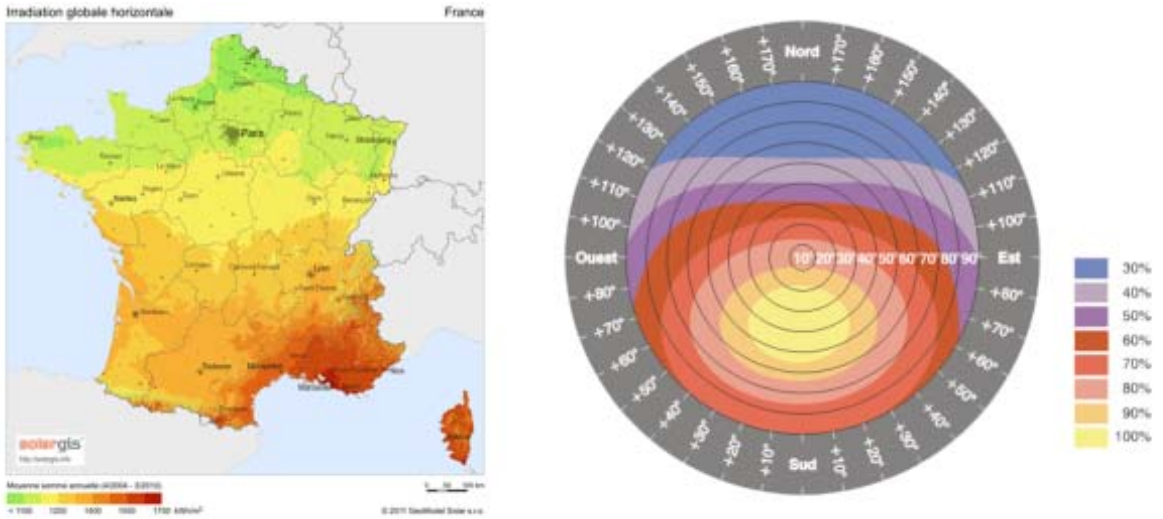


Carte de l'insolation annuelle en Bretagne Source : Bretagne Environnement

Selon la carte de l'Insolation annuelle de la Bretagne (Source Bretagne Environnement), **l'insolation annuelle de la commune de La Bouëxière est comprise entre 1700 et 1800 heures**, ce qui vient confirmer les données de Météo France.

b) Apports solaires

À La Bouëxière, l'énergie reçue est comprise entre 1150kWh et 1200kWh par m² et par an, pour une irradiation horizontale. En moyenne un panneau solaire thermique produira entre 300 et 500kWh/(m².an) (source ADEME). **La commune présente donc un potentiel intéressant pour envisager la pose de panneaux solaires thermiques, autant dans les logements individuels que les logements collectifs.**



Carte de l'irradiation solaire horizontale

Voir ANNEXES – Fiche 3 – Le solaire thermique.

3. LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE (ELECTRICITE)

3.1. Le fonctionnement général du photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque permet la production directe d'électricité au contraire de l'énergie solaire thermique qui produit de la chaleur pour l'eau chaude sanitaire ou le chauffage.

Les panneaux solaires photovoltaïques sont des dispositifs énergétiques qui mesurent en moyenne 1,70 m de hauteur sur 1 m de largeur. Ils peuvent être installés sur des toitures inclinées ou des toitures terrasses. Dans ce second cas, les panneaux sont posés sur des supports inclinés. Mais on peut aussi envisager les utilisations suivantes : brise-soleil, Bardage de façades, Auvents, Ombrières pour parkings, Etc…

Ils sont composés de cellules de silicium, aussi appelées cellules photovoltaïques, capables de capter la lumière du soleil puis de la transformer en électricité.

Les capteurs photovoltaïques, constitués d'un ensemble de cellules photovoltaïques, produisent un courant continu lorsqu'ils reçoivent de la lumière. Or, les habitations et les appareils électriques consomment un courant alternatif. Ce courant continu doit donc ensuite être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur. Le courant est ensuite envoyé jusqu'à un compteur électrique de production permettant de mesurer l'énergie produite.
L'électricité produite est ensuite autoconsommée et/ou injectée sur le réseau.

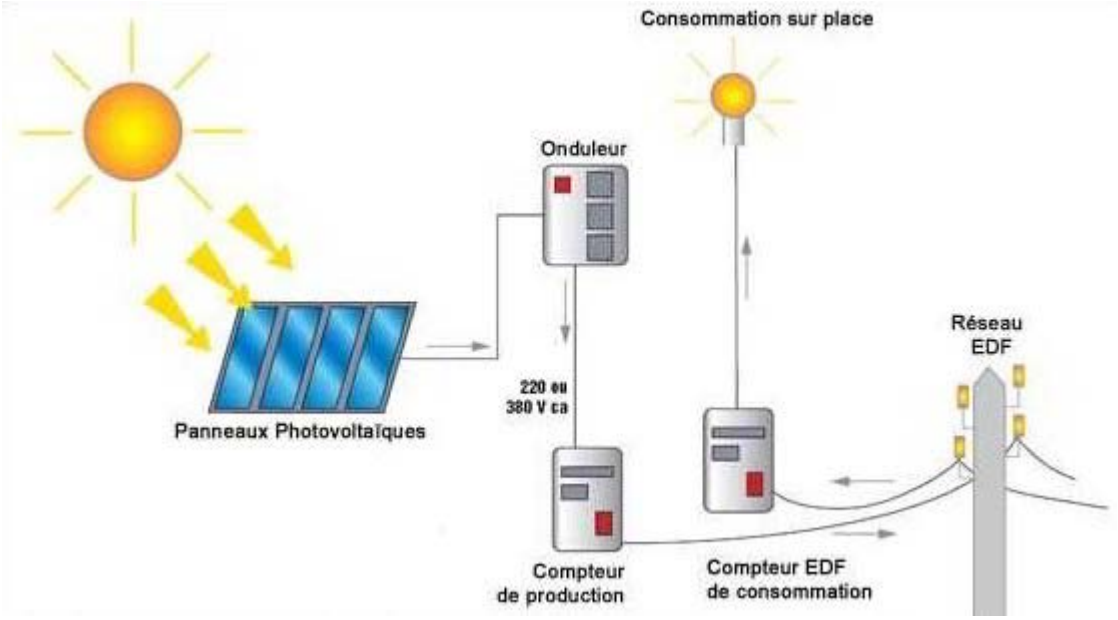


Schéma d'une installation photovoltaïque connectée au réseau
Source : ADEME

3.2. Les principaux types de modules photovoltaïques et leurs caractéristiques

Tous les panneaux solaires ne se valent et ne se ressemblent pas. On distingue plusieurs technologies de cellules selon les procédés de fabrication utilisés.

a) Les cellules en Silicium cristallin : Les monocristallins et les polycristallins

Aujourd'hui, il existe deux principaux types de modules photovoltaïques : les monocristallins et les polycristallins. 4 principaux critères différencient ces 2 technologies.

- *Le rendement*

Les panneaux composés de cellules photovoltaïques en silicium polycristallin ont un rendement de 14 à 18 %. Les modules en silicium monocristallin ont un rendement supérieur généralement compris entre 15 et 24 %.

- *La puissance*

Les panneaux polycristallins ont généralement une puissance moins importante (250 à 275 Wc) que les panneaux monocristallins (300 à 325 Wc). A puissance égale, la surface utilisée sera bien différente. Par exemple, prenons un panneau monocristallin qui délivre une puissance de 300 Wc. Pour une installation de 6 kWc, il faut donc 20 panneaux monocristallins, donc environ 35 m² de toiture disponible. Un panneau polycristallin de la même taille délivrera lui une puissance de 250 Wc. Il faudra donc 24 panneaux, soit 41 m² environ.

- *L'Esthétique*

Les panneaux monocristallins bénéficient d'une couleur uniforme gris-noir. Ils sont donc moins visibles. De plus, l'absence de rainurage rend le panneau solaire particulièrement discret et esthétique. A l'opposé, les panneaux polycristallins sont plus visibles car d'une couleur bleue non homogène.

Module polycristallin (à gauche) et module monocristallin (à droite)

- *Le coût*

Les panneaux polycristallins sont moins chers que les panneaux monocristallins, ce qui leur procure un bon rapport qualité/prix. Ils sont d'ailleurs les plus courants.

Critères	Panneaux solaires monocristallins	Panneaux solaires polycristallins
Rendement	Rendement bon : 15 à 24%	Rendement un peu moins élevé : environ 14 à 18%
Puissance	Puissance plus importante (300 à 325 Wc).	Puissance moins importante (250 à 275 Wc)
Esthétique	Esthétique (ressemble aux ardoises)	Panneau un peu moins esthétique (couleur plus bleue)
Cout	Prix plus élevé à cause des technologies de fabrication plus onéreuses	Coût moins cher due à la fabrication plus aisée que les monocristallins
Contexte	Production moindre que les polycristallins dans les régions moins ensoleillées	Conviennent mieux à des climats ensoleillés et à de grandes surfaces

Avantages et inconvénients des panneaux monocristallins et polycristallins

b) Les cellules en couches minces

Ces cellules en couches minces sont à base de Silicium amorphe, de Tellurure de Cadmium (CdTe) ou de Diséléniure de Cuivre, d'Indium et éventuellement de Gallium (CIS ou CIGS). Ils présentent des rendements entre 10 et 14 %.

cellule en couches minces à base de silicium amorphe

3.3. Les onduleurs

Un onduleur est un système qui transforme l'électricité produite en courant continu par les panneaux solaires photovoltaïques, en courant alternatif compatible avec le réseau. Il est indispensable d'avoir un (ou plusieurs) onduleur(s) sur chacune des installations photovoltaïques. Il en existe 2 types :

- Les onduleurs centraux, ou onduleurs string, étaient les seuls utilisés il y a encore quelques années. Le principe est simple, tous les panneaux sont reliés en série et raccordés à un onduleur déporté.
- Les micro-onduleurs sont placés derrière chaque panneau (parfois reliés par 2 pour en limiter le nombre). Les panneaux sont ainsi reliés en parallèle ce qui permet à l'installation d'être un peu moins impactée par les masques solaires.

Sur une installation neuve, il vaut sans doute mieux partir sur les micro-onduleurs, même si la pose d'un onduleur central n'est pas une aberration. Sur une installation existante, le gain global est nul et il n'est

pas intéressant de changer. Le changement d'onduleur est l'une des arnaques en vogue actuellement auprès des propriétaires de panneaux solaires photovoltaïques (voir plus bas).

3.4. Les utilisations possibles des panneaux photovoltaïques

a) En toiture

Les panneaux photovoltaïques monocristallins ou polycristallins peuvent être utilisés sur les toitures des habitations (inclinées ou terrasses) mais aussi sur des bâtiments industriels.

Photo de modules photovoltaïques inclinés en toiture

Photo de modules photovoltaïques inclinés en toiture terrasses

Il existe plusieurs possibilités d'intégration à la toiture. L'intégration simplifiée au bâti (ISB)n est aujourd'hui la plus courante et consiste à venir poser les panneaux solaires par-dessus la toiture. Cela signifie que l'installation n'assure pas l'étanchéité de la toiture et le prix d'investissement est donc moins élevé car la pose nécessite moins de main d'œuvre et de risques pour les artisans. Le tarif de rachat est également plus faible.

L'autre possibilité est d'intégrer les panneaux au bâti. Dans ce cas, les panneaux font partie intégrante de la toiture et assure l'étanchéité. Concrètement, cela signifie qu'il n'y a pas de tuiles sous les panneaux solaires. C'est une solution tout à fait adaptée dans le neuf ou en rénovation complète de toiture. L'intégration est plus discrète et l'installation est donc plus esthétique. Elle induit un coût de rachat plus intéressant que l'ISB.

Toutefois, dans le cas de toitures terrasses, on favorisera les membranes photovoltaïques amorphes, qui peuvent se coller sur les systèmes d'étanchéité courants et présentent des coûts d'investissement raisonnables. Les modules photovoltaïques sont directement intégrés, en usine, sur une membrane d'étanchéité, ainsi que l'ensemble des connectiques.

Photo de membranes d'étanchéité photovoltaïques

b) Au niveau des parkings : les ombrières photovoltaïques de parking

Des auvents solaires ou ombrières photovoltaïques de toutes tailles peuvent être installés sur des zones de stationnement publiques ou privées pour protéger les véhicules (ou autres équipements) des intempéries et pour valoriser les zones de stationnement en profitant de cet espace pour produire de l'électricité.

Illustration d'une ombrière photovoltaïque de parking)

Les ombrières photovoltaïques offrent une surface optimale pour la pose des panneaux solaires, fixés sur une ossature métallique galvanisée avec des longerons acier en remplacement complet d'une toiture.

L'ombrière photovoltaïque de parking existe dans toutes les tailles pouvant couvrir deux places de stationnement jusqu'à plusieurs centaines. Outre la production d'électricité, mes ombrières solaires permettent aux entreprises de communiquer sur leurs efforts en termes d'économie d'énergie et constituent en cela un bon vecteur d'image.

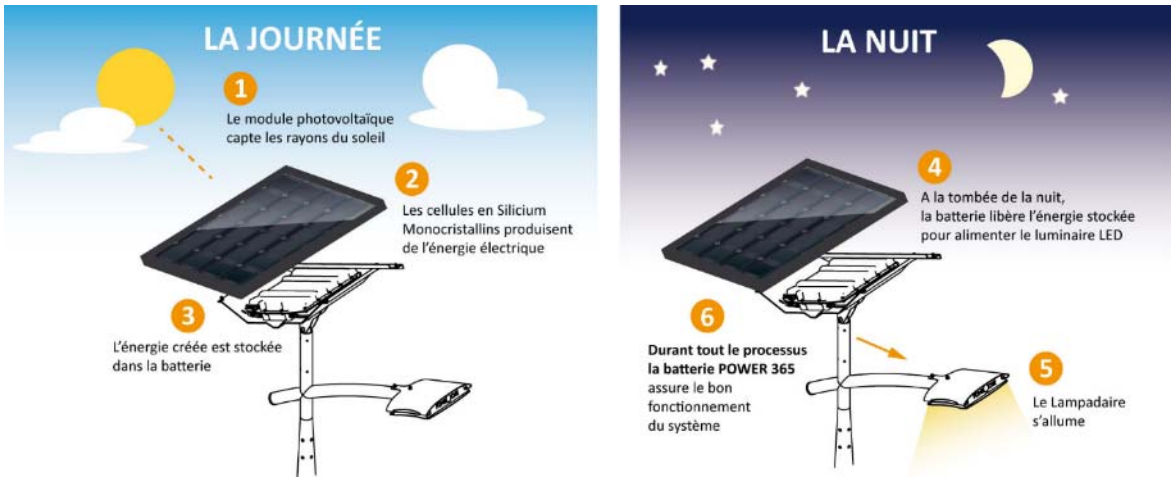
Illustration d'une ombrière photovoltaïque de parking)

Photo de panneaux photovoltaïques utilisés - Source : lenergeek.com

c) Au niveau des éclairages publics

Dans le domaine de l'éclairage et du mobilier urbain, le solaire autonome permet notamment d'alimenter des luminaires à LEDs de lampadaires & candélabres, balisage solaire au sol en totale autonomie.

La journée, le module photovoltaïque capte l'énergie du soleil et la stocke dans la batterie. La nuit, la batterie intelligente placée en tête de mât libère l'énergie stockée durant la journée pour alimenter le bloc LED et permet d'éclairer la voirie, les zones de parkings ou autres. Cet équipement fonctionne en moyenne12 heures par nuit avec une autonomie de 3 jours en cas d'absence de soleil.



Schémas du fonctionnement d'un candélabre solaire autonome

Grâce à un panneau photovoltaïque d'environ 1 m, le candélabre a la possibilité d'éclairer en toute autonomie près de 25 à 40 m. Les plus grands peuvent être utilisés dans les zones d'activités ou industrielles ou toute zone nécessitant d'éclairer de grande surface de façon autonome. Il ne nécessite pas de travaux d'enfouissement de lignes électriques et donc ne revient pas plus cher à l'achat/installation qu'un lampadaire classique.

Enfin, il est également possible d'alimenter un candélabre à la fois par l'énergie solaire et l'énergie éolienne, c'est-à-dire qu'il est équipé de panneaux solaires photovoltaïques et d'une petite éolienne qui alimentent le lampadaire en énergie. On les appelle des lampadaires hydrides. Ce type de lampadaire permet de bénéficier d'un éclairage public totalement gratuit et entièrement écologique. Les panneaux photovoltaïques captent la lumière du soleil et la petite éolienne capte le vent tout au long de la journée. Ils permettent de produire de l'électricité, qui est stockée dans des batteries, puis restituée la nuit pour l'éclairage. Ces deux énergies complémentaires permettent une réelle autonomie des lampadaires.

Lampadaire hybride solaire-éolien

3.5. Les aspects réglementaires

Type	Réglementation
Bâtiments existants	• Conformité avec le document d'urbanisme en vigueur (PLU) • Prise en compte de la proximité éventuelle avec des sites et monuments historiques inscrits ou classés. En effet, le cas échéant, les autorisations d'urbanisme sont soumises à l'avis de de l'Architecte des Bâtiments de France qui vérifie en particulier les co-visibilités entre le monument et les installations solaires. • Déclaration préalable de travaux (1 mois) • Certificat de Non-Opposition à la Déclaration Préalable (article R 424-13 du code de l'urbanisme)
Bâtiments neufs	• Conformité avec le document d'urbanisme en vigueur (PLU) • Installation solaire à intégrer à la demande de permis de construire (2 mois) • Prise en compte de la proximité éventuelle avec des sites et monuments historiques inscrits ou classés. En effet, le cas échéant, les autorisations d'urbanisme sont soumises à l'avis de de l'Architecte des Bâtiments de France qui vérifie en particulier les co-visibilités entre le monument et les installations solaires.

Dans le cas du projet du lotissement de la Tannerie, il va s'agir de bâtiments neufs. Les installations projetées devront donc être intégrées aux permis de construire. A noter qu'aucun monument historique ne se trouve sur le site ou à proximité immédiate.

3.6. Le coût d'une installation photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques induisent plusieurs types de coûts : des coûts d'installation, des coûts de fonctionnement et des impôts.

a) Les coûts d'installation

Depuis plusieurs années, les coûts d'une installation photovoltaïque ont beaucoup baissé.

Depuis 2010, le prix des cellules photovoltaïques a chuté de près de 66 % pour le secteur résidentiel français.

Le coût d'une installation intégrée au bâti est d'environ 2 500 à 3000 € TTC par kilowatts-crête (kWc) installé. Ce prix annoncé comprend en compte les frais suivants :

- Le matériel (panneaux photovoltaïques, onduleur ou micro-onduleurs) ;
- La main d'œuvre ;
- Les démarches administratives ;
- Le raccordement ;
- Et la mise en service.

Le coût décroit avec la surface de panneaux posée. Pour 3 kWc installés et intégrés au bâti, il faut compter environ 6 000 à 9000 €, environ 13 000 à 14 000 € pour une installation de 6 kWc et 18 000 à 20 000 € pour 9 kWc. Cependant, plusieurs facteurs, tels que la configuration du site ou des travaux de raccordement complexes peuvent augmenter le prix

Puissance de l'installation	Prix estimatif en € TTC
3 KWc	Entre 7 500 et 9 000 €
6 KWc	Entre 13 000 et 14 000 €
9 KWc	Entre 18 000 et 20 000 €

Au coût des panneaux eux-mêmes, il faut ajouter les coûts de raccordement de l'installation et les éventuels travaux à votre charge. Ces coûts varient selon le type de raccordement et de l'installation déjà existante. Sans travaux particuliers ou extension de réseau, il faut compter entre 800 et 1500 euros TTC qu'il vous faudra payer directement à Enedis (Ex-ERDF) ou votre entreprise locale de distribution en plus des travaux d'installation. Il peut être plus élevé dans le cas de la vente en totalité l'installation étant plus conséquente.

Dans le cas de l'autoconsommation avec vente du surplus, le raccordement est simplifié et coûte beaucoup moins cher, entre 400 et 500 € pour une installation sans travaux particulier.

Actuellement, la durée de vie moyenne d'un panneau photovoltaïque est d'environ vingt à vingt-cinq ans.

b) Les coûts de fonctionnement

Les coûts de fonctionnement ne sont pas nombreux.

- Après leur installation, les panneaux fonctionnent seuls et leur maintenance se limite généralement à un nettoyage tous les 3 ans que l'on peut effectuer soit même avec un simple balai télescopique et de l'eau tiède.
- Il faut compter une **facturation annuelle de la part du gestionnaire de réseaux** (RTE, ENEDIS et les régies locales) **au titre du tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité (TURPE**). En 2019, ce tarif est de 42 € TTC dans le cas de la vente en totalité et de 10 € TTC dans le cas d'autoconsommation avec vente du surplus de production.
- Enfin, d'un point de vue technique, il arrive que l'onduleur doive être remplacé. En moyenne, on estime que **l'onduleur doit être remplacé tous les 10 ans**. Son coût est actuellement en moyenne de 1500 €.

c) Les impôts

Les revenus provenant d'une installation photovoltaïque dont la puissance est inférieure ou égale à 3 kWc sont exonérés d'impôts sur le revenu et de prélèvements sociaux (à condition que ces revenus ne soient pas affectés à une activité professionnelle). Pour les installations de puissance supérieure, les produits de la vente de l'électricité sont imposables au titre de l'impôt sur le revenu.

d) Les aides possibles pour financer son projet

Depuis la mise en place d'un tarif d'achat intéressant de l'électricité produite par panneaux, les aides locales ont fortement diminué. Cependant, certaines collectivités territoriales (région, département ou commune) peuvent aider financièrement un projet. Pour savoir si vous avez droit à une aide locale, contactez le Point Rénovation Info Service (PRIS) du lieu d'implantation de vos panneaux (au 0 808 800 700 du lundi au vendredi de 9 à 18 heures, prix d'un appel local).

Avec la loi de finances pour 2014, **les panneaux photovoltaïques ne sont plus éligibles au crédit d'impôt développement durable (CIDD), ni au prêt à taux zéro (PTZ)** pour les dépenses payées à compter du 1er janvier 2014.

Depuis l'arrêté du 9 mai 2017 qui modifie les tarifs d'achat de l'électricité produite par photovoltaïque, **seule l'option d'autoconsommation avec vente du surplus permet de bénéficier d'une aide publique**. C'est la prime d'installation qui varie selon la taille de l'installation. Cette aide est indexée sur la puissance de l'installation et varie entre 290 et 390 € par kilowatt-crête et elle est versée sur 5 ans.

Aide pour l'autoconsommation avec vente du surplus			
Puissance de l'installation	Montant de l'aide versé pour chaque kWc installé	Montant total de l'aide	Montant annuel versé les 5 premières années
≤ 3 KWc	390 € / kWc	1170 €	234 €
6 KWc	290 € / kWc	1740 €	348 €
≤ 9 KWc	290 € / kWc	2 610 €	522 €

L'achat du matériel et son installation peuvent bénéficier du taux réduit de TVA à 10 %, à condition que le logement pour lequel sont effectués les travaux soit achevé depuis plus de deux ans et que la puissance nominale installée soit inférieure ou égale à 3 kWc. Pour les installations dont la puissance est supérieure à 3 kWc, le taux normal de 20 % s'applique.

Enfin, d'autres aides restent cependant en place en réduisant l'investissement de départ, **notamment les aides de l'Anah (uniquement pour les propriétaires**).

3.7. Les critères à prendre en compte pour dimensionner une installation

Pour dimensionner leur installation et déterminer combien de panneaux solaires photovoltaïques installés, il faut tenir compte de l'ensemble des critères suivants :

a) Vente en totalité ou Autoconsommation ?

Naturellement, le nombre de panneaux solaires nécessaire pour une maison varie en fonction du but poursuivi par la famille qui investit dans le photovoltaïque : vente en totalité de la production solaire ou autoconsommation avec vente du surplus. Les gains et économies à venir sont différents, tout comme les coûts d'installation (voir chapitre ci-après).

b) La puissance crête du panneau solaire

Ce critère s'articule nécessairement avec le précédent. En fonction de ses besoins en production d'électricité, la famille doit s'équiper d'un nombre de panneaux plus ou moins important. Mais ce nombre découle également directement de la puissance délivrée par un panneau. A taille égale d'installation, le rendement augmente avec la puissance nominale de chaque panneau solaire.

c) La surface disponible

Un panneau solaire mesure un 1,70m². Le nombre de panneau dépend aussi de la surface pouvant être couverte sur le toit.

d) Le budget

Dernier élément qui rentre en ligne de compte au moment de déterminer combien de panneaux solaires installer pour sa maison – élément éventuellement de nature à réduire ce nombre.

La prise en compte globale de l'ensemble de ces paramètres permet d'évaluer la production photovoltaïque en vue de calculer, pour un besoin en électricité verte déterminé, combien de panneaux solaires commander pour une maison.

3.8. Les valorisations possibles de l'électricité produite : Autoconsommation, vente totale, vente avec surplus ?

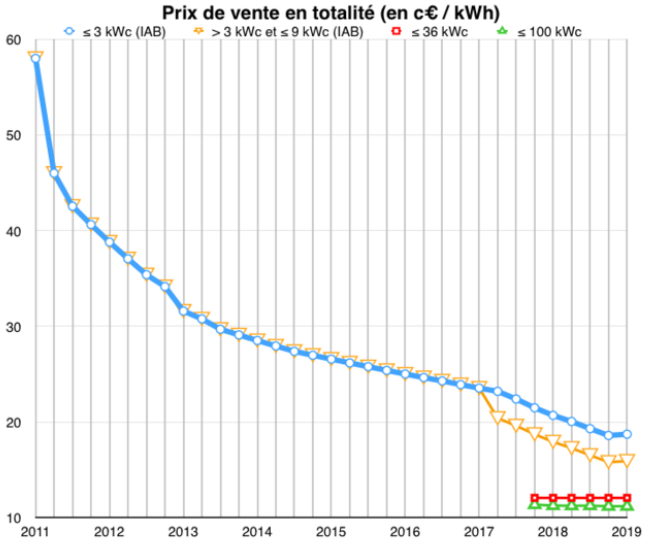
Quand on pose des panneaux photovoltaïques, sur un toit par exemple, on devient producteur d'électricité. Il y a plusieurs façons de valoriser cette activité :

- **Vendre la totalité de l'énergie produite** : on reçoit alors un revenu annuel en fonction du nombre de kilowattheures (kWh) produits,
- **Autoconsommer la totalité de l'énergie produite** : il s'agit de consommer la totalité de sa production en instantané, au moment où elle est produite
- **Autoconsommer une partie de la production et vendre "le surplus", la partie non consommée instantanément** : on obtient alors une réduction de sa facture en fonction du nombre de kWh consommés et un revenu annuel correspondant au nombre de kWh vendus.

a) La revente totale

La revente totale est l'option historique du photovoltaïque et cette solution était l'extrême majorité des cas jusqu'en 2017. Le principe est relativement simple : Le particulier vend directement à EDF toute l'électricité qu'il produit, à un tarif d'obligation d'achat fixé pour 20 ans. Le tarif d'achat de la production varie en fonction de la puissance de l'installation solaire et de son mode de pose.

Avec la baisse du prix du rachat, entre 15 et 18 ct€ (fin 2019), et l'augmentation du prix de l'électricité, **la rentabilité d'installation de panneaux solaires photovoltaïques pour la vente totale est de plus en plus faible et se situe autour de 17 à 20 ans.** Il s'agit d'un placement financier devenu de moins en moins intéressant. **C'est pourquoi, aujourd'hui, très peu de projets photovoltaïques optent pour la vente totale** *(voir en annexe, les simulations réalisées pour 2 installations de 6 kWc et 3 kWc).*



Evolution du prix de vente de l'électricité en totalité entre 2011 et 2019

Type d'installation	Puissance (kWc)	Tarifs (€) au 31 décembre 2019
Intégration au bâti	≤ 3 kwc	**0,1857 €**
	≤ 9 kwc	**0,1579 €**
Non intégré au bâti ou IAB/ISB < 100kWc	≤ 36 kwc	0,1207 €
	≤ 100 kwc	0,1076 €

Tarifs de vente de l'électricité photovoltaïque en totalité du 1er octobre au 10 décembre 2019

Une simulation de vente totale est présentée en ANNEXES – Fiche 2 – Le solaire photovoltaïque

b) L'autoconsommation intégrale sans revente de surplus

L'autoconsommation totale peut se décliner de 2 manières différentes : en site raccordé au réseau ou en site isolé.

- Raccordé au réseau : le bâtiment est raccordé au réseau et l'on est sûr que la consommation sera supérieure à la production. C'est rarement le cas sur une installation individuelle mais cela peut s'envisager sur certains bâtiments agricoles d'élevages ou industriels. Dans ce cas, il n'y a aucune injection dans le réseau qui viendra faire le complément entre production et consommation.
- Site isolé : ici, le bâtiment n'est pas raccordé au réseau. Cela peut notamment être le cas de certains chalets de montagne, des zones reculées et dans certains pays où le réseau n'est pas encore 100% développé. Dans ce cas, la production est généralement plus importante que la consommation et le surplus est stocké dans des batteries qui prendront le relai lorsque la production des panneaux ne sera plus suffisante (notamment la nuit). Le stockage représente un investissement très important et un dimensionnement précis pour subvenir aux besoins du bâtiment qui y est raccordé.

En fonction de votre consommation, vous devrez sûrement investir dans une installation de 6 ou 9 kWc minimum. Mais ce n'est pas cela qui va fortement impacter le coût de l'autonomie totale. Le véritable problème est lié au prix des batteries pour panneaux photovoltaïques. En effet, avec des prix compris entre 600 et 1000 € pour le stockage d'un kWh, il est plus que probable que le parc de batteries nécessaire à votre autonomie totale représente plus de 50 % de la facture finale. L'autonomie totale nécessite également que vous suiviez en permanence votre production et que vous adaptiez votre consommation en conséquence. Au final, l'autoconsommation totale est une solution très couteuse, difficile à mettre en place du fait qu'il faut optimiser en permanence la consommation avec la production.

c) L'autoconsommation partielle : l'autoconsommation avec revente du surplus

On ne devient pas autonome énergétiquement aussi facilement. C'est pour cela que la majorité des utilisateurs optent pour l'autonomie partielle grâce à une installation classique en autoconsommation avec vente du surplus.

L'autoconsommation partielle (ou revente du surplus) consiste à consommer directement l'électricité que l'on produit. **L'objectif est d'utiliser moins d'électricité provenant du réseau et donc de réduire la facture d'électricité**. Consommer son électricité est donc la première manière de rentabiliser son installation de panneaux solaires en autoconsommation. La seconde manière de rentabiliser son installation est liée au fait **qu'il est possible que vous produisiez plus d'électricité que vous n'en consommez à un instant « t » : on parle alors de production d'un « surplus ». Dans ce cas, cet excédent d'électricité va être automatiquement revendu à EDF Obligation d'Achat (EDF OA) puis envoyé sur le réseau public d'électricité**. Le tarif d'achat du surplus est fixé à 0.10€ par kilowatt-heure (kWh) et reste fixe pendant 20 ans. Jusqu'en 2016, il n'était pas possible de revendre sa production mais simplement de l'injecter sur le réseau. Autrement dit, le surplus de production était injecté gratuitement sur le réseau. Depuis 2017, la tendance s'est inversée puisque non seulement l'autoconsommation partielle est possible mais elle est encouragée. Il existe en effet une prime qui se situe entre 290 et 380€/kWc installé (selon la puissance installée).

Ainsi, depuis peu, il est de moins en moins intéressant financièrement de revendre à un fournisseur d'électricité le courant que l'on produit. Consommer l'énergie que l'on produit nous même produit devient une solution de plus en plus judicieuse. C'est la naissance de l'autoconsommation. En effet, le prix de vente de l'électricité photovoltaïque à EDF est en baisse alors que le prix de l'électricité que nous payons à EDF augmente. Le tarif de l'électricité devrait encore augmenter au cours des prochaines années selon certaines prévisions, ce qui laisse envisager un très fort développement du photovoltaïque pour l'auto-consommation dans les années à venir.

La rentabilité d'une installation permettant l'autoconsommation est basée sur la meilleure adéquation possible entre le profil de consommation du logement et la période de production des panneaux. Cela oblige par exemple à "optimiser" sa consommation d'électricité pour la faire correspondre à sa production. Pourquoi ? Simplement car la production et la consommation d'électricité ne sont pas simultanées tout au long de l'année, voir même au cours d'une journée.

La production d'électricité par les panneaux est maximum la journée et pendant la période d'été (en moyenne, les panneaux produisent 3 fois plus en été qu'en hiver). Or, l'étude de la courbe de consommation montre que les pics de consommation se situent le matin et le soir et surtout en hiver.

Les retours d'expérience montrent que le taux d'autoconsommation, c'est-à-dire la part de la production consommée sur la production totale, oscille entre 20 et 40 %. Dit autrement, entre 60 et 80 % de la production en surplus sont vendus. Dans le cas de l'autoconsommation avec vente du surplus, le tarif d'achat n'est que de 0,10 €/kWh. A ce prix, il devient difficile de rentabiliser l'installation si la majorité de l'énergie produite est revendue. Ce n'est que si les habitants du logement adaptent leurs habitudes de consommation que le projet peut être intéressant. Afin d'optimiser son taux d'autoconsommation et son taux d'autoproduction, il est conseillé de déporter la consommation qu'il est possible de déporter dans la journée, quand la production est maximum : les machines à laver le linge ou la vaisselle, le repassage ou le ballon d'eau chaude... Ainsi, avant de se lancer dans un projet d'autoconsommation partielle, il faut avoir une bonne connaissance de ses habitudes, des moments où l'on consomme le plus, des consommations que l'on peut éventuellement déporter pendant la période de production.

Les producteurs peuvent agir eux-mêmes sur leur consommation, mais ils peuvent également se faire aider par des dispositifs de pilotage de certains appareils. Par exemple, des box permettent de déclencher le ballon d'eau chaude quand elles détectent que la production des panneaux n'est pas utilisée et qu'il y a un risque de surplus. Ainsi, pour un coût de 250 € à 1 000 € pour les plus complexes, ces dispositifs permettent d'atteindre des taux d'autoconsommation de l'ordre de 70 %.

Enfin, consommer des kWh produits par ses panneaux, c'est réduire la consommation facturée par son fournisseur d'électricité. Mais il ne faut pas s'attendre à diviser sa facture par deux ou trois. Installer des panneaux photovoltaïques pour autoconsommer ne vous rend donc pas totalement autonome. Vous devrez toujours avoir un contrat avec un fournisseur d'énergie et donc payer un abonnement et une facture.

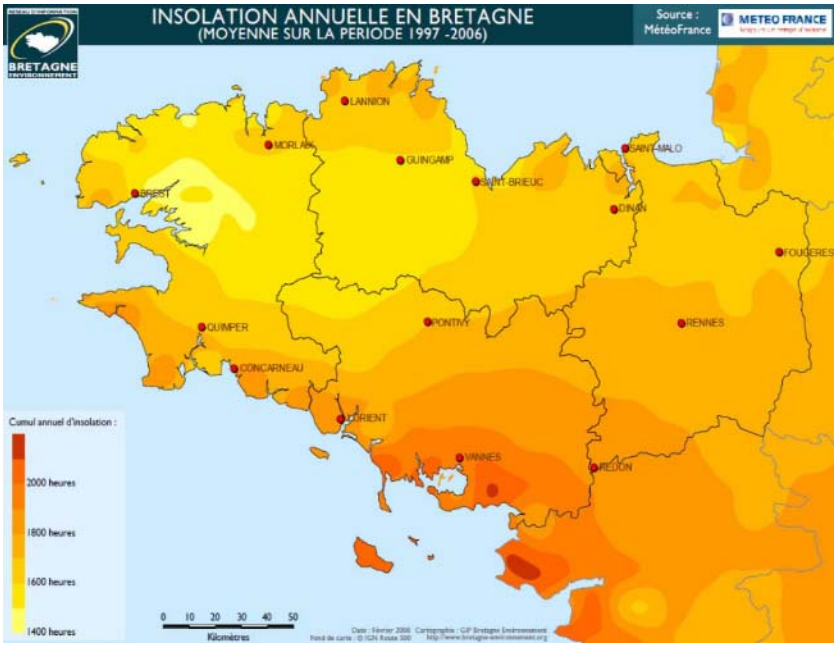
L'autoconsommation vous permet de réduire cette facture et le montant de la réduction dépendra de votre faculté à changer vos habitudes.

Une simulation d'autoconsommation avec vente du surplus est présentée en ANNEXES – Fiche 2 – Le solaire photovoltaïque

3.9. Le contexte climatique local

a) L'ensoleillement sur la région rennaise

L'ensoleillement du territoire et les données météorologiques constituent le gisement brut des filières solaire thermique et photovoltaïque. Ces données servent de base au calcul du productible des installations solaires t photovoltaïques. D'après les données de Météo France, la région rennaise présente un ensoleillement moyen de 1756 heures par an, ce qui est inférieur à la moyenne française de 1970 heures annuelles. Le mois de juillet (223 h) constitue le mois le plus ensoleillé ; à l'inverse du mois de décembre (65 h). Toutefois, cet ensoleillement est suffisant pour permettre une utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque et/ou thermique.



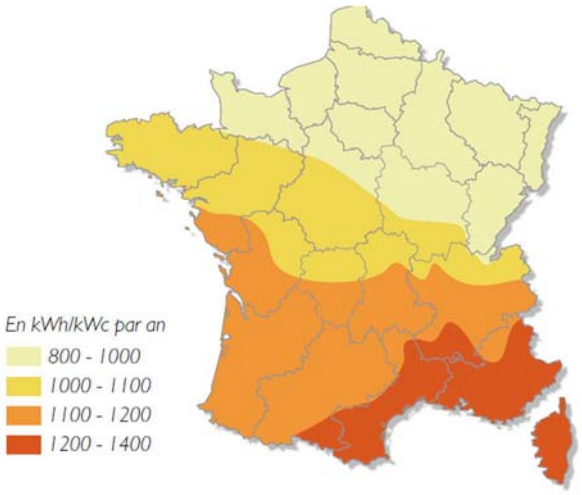
Carte de l'insolation annuelle en Bretagne Source : Bretagne Environnement

Selon la carte de l'Insolation annuelle de la Bretagne (Source Bretagne Environnement), **l'insolation annuelle de la commune de La Bouëxière est comprise entre 1700 et 1800 heures**, ce qui vient confirmer les données de Météo France.

b) Gisement solaire

En fonction de l'endroit où on se trouve, le degré d'ensoleillement varie tout comme les performances de l'installation installation. À Lille 1 kWc posé (1 kW Crète correspond à la puissance maximale obtenue par les panneaux solaires photovoltaïques installés dans les meilleures conditions) produira 900 kWh annuel. À Rennes, 1 kWc produira 1000 kWh annuel.

Le gisement solaire sur la commune se situe dans la fourchette de 1000-1100 kWh/kWc/an. La commune présente donc un potentiel intéressant pour envisager la pose de panneaux photovoltaïques.



Carte du gisement solaire

4. LE SOLAIRE HYBRIDE OU L'AEROVOLTAIQUE

4.1. Le fonctionnement général du solaire hybride

Les capteurs solaires hybrides permettent de générer simultanément de l'électricité et de l'eau chaude et ainsi parvenir à l'indépendance énergétique.

Le fonctionnement d'un panneau solaire hybride est relativement simple à comprendre. Il est constitué de capteurs thermiques à haut rendement sur lesquels reposent des cellules solaires photovoltaïques. Ces dernières transforment le rayonnement solaire en électricité, tandis que les capteurs thermiques récupèrent la chaleur émise par le soleil grâce à un fluide caloporteur injecté par un échangeur ou grâce à un collecteur d'air chaud.

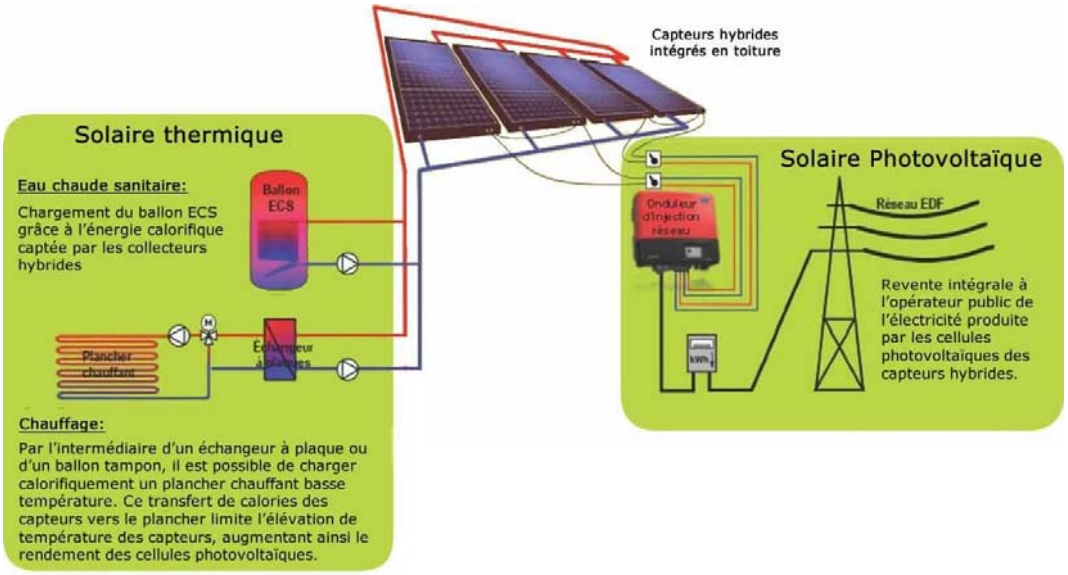
Le panneau solaire hybride permet ainsi de générer simultanément de l'électricité et de la chaleur grâce à ses deux faces au fonctionnement distinct :

- En couche supérieure (côté soleil) : ses cellules photovoltaïques produisent de l'électricité dès qu'elles sont exposées au rayonnement solaire.
- En couche inférieure (côté intérieur) : un capteur solaire thermique capte la chaleur émanant du soleil.

Associant les caractéristiques des panneaux photovoltaïques et thermiques, ces panneaux solaires hybrides, aussi appelés « panneaux PV/T », reposent ainsi sur le principe de la cogénération solaire permettant de :

- Générer de l'électricité pour éclairer votre logement et alimenter tous vos appareils installés dans votre maison à partir d'énergie naturelle.
- Produire de la chaleur pour chauffer votre eau, une piscine, l'air ambiant ou même pour faire fonctionner votre plancher chauffant.

Réunissant en une unique technologie les possibilités du solaire thermique et du photovoltaïque, cette cogénération permet d'optimiser la surface. En effet, cela permet d'éviter de multiplier les systèmes utilisés et donc de réduire la surface d'exposition nécessaire.



Panneaux solaire hybrides

4.2. Le coût d'une installation solaire hybride

Les panneaux solaires hybrides induisent plusieurs types de coûts : des coûts d'installation, des coûts de fonctionnement et des impôts.

a) Les coûts d'installation

Le coût d'une installation varie selon la puissance du système.

Puissance de l'installation	Prix estimatif en € TTC
3 KWc	Entre 15.000 € à 20.000 €
6 KWc	Entre 25.000 € à 30.000 €
9 KWc	Entre 35.000 € à 40.000 €

Au coût des panneaux eux-mêmes, il faut ajouter les coûts de raccordement de l'installation et les éventuels travaux à votre charge. Ces coûts varient selon le type de raccordement et de l'installation déjà existante.

Dans le cas de l'autoconsommation avec vente du surplus, le raccordement est simplifié et coûte beaucoup moins cher, entre 400 et 500 € pour une installation sans travaux particulier.

b) Les coûts de fonctionnement

Les coûts de fonctionnement ne sont pas nombreux.

- Après leur installation, les panneaux fonctionnent seuls et leur maintenance se limite généralement à un nettoyage tous les 3 ans que l'on peut effectuer soit même avec un simple balai télescopique et de l'eau tiède.
- Il faut compter une **facturation annuelle de la part du gestionnaire de réseaux** (RTE, ENEDIS et les régies locales) **au titre du tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité (TURPE**). En 2019, ce tarif est de 42 € TTC dans le cas de la vente en totalité et de 10 € TTC dans le cas d'autoconsommation avec vente du surplus de production.
- Enfin, d'un point de vue technique, il arrive que l'onduleur doive être remplacé. En moyenne, on estime que **l'onduleur doit être remplacé tous les 10 ans**. Son coût est actuellement en moyenne de 1500 €.

c) Les aides possibles pour financer son projet

Jusqu'à fin 2019, les panneaux aérovoltaïques bénéficiaient d'un crédit d'impôt de 30% pour l'acquisition d'un système aérovoltaïque sur l'ensemble des capteurs thermiques et photovoltaïques, dans la limite d'un plafonnement par mètre carré : 200 € / m² (limite : 20 m²). **A compter du 1er janvier 2020, le CITE à 30% disparaît au profit d'une prime forfaitaire pour les ménages modestes et d'un crédit d'impôt forfaitaire pour les autres ménages.**

L'installation d'un système aérovoltaïque est soumise à la TVA à taux réduit qui, dans le cadre de travaux d'économies d'énergie, est de 5,5%.

Depuis l'arrêté du 9 mai 2017 qui modifie les tarifs d'achat de l'électricité produite par photovoltaïque, **seule l'option d'autoconsommation avec vente du surplus permet de bénéficier d'une aide publique**. C'est la prime d'installation qui varie selon la taille de l'installation. Cette aide est indexée sur la puissance de l'installation et varie entre 90 et 390 € par kilowatt-crête et elle est versée sur 5 ans.

Aide pour l'autoconsommation avec vente du surplus			
Puissance de l'installation	Montant de l'aide versé pour chaque kWc installé	Montant total de l'aide	Montant annuel versé les 5 premières années
≤ 3 KWc	390 € / kWc	1170 €	234 €
6 KWc	290 € / kWc	1740 €	348 €
≤ 9 KWc	290 € / kWc	2 610 €	522 €

Enfin, d'autres aides restent cependant en place en réduisant l'investissement de départ, **notamment les aides de l'Anah (uniquement pour les propriétaires**).

5. L'EOLIEN (ELECTRICITE)

5.1. Le fonctionnement général de l'éolien

Une éolienne transforme l'énergie cinétique du vent en énergie électrique.

La machine se compose de **pales** (3 en général) portées par un **rotor** et installées au sommet d'un **mât** vertical. Cet ensemble est fixé sur une nacelle qui abrite un **générateur électrique**. Un moteur électrique permet d'orienter la **nacelle** afin que le rotor soit toujours face au vent.
Le vent fait tourner les pales entre 10 et 25 tours par minute. Un multiplicateur permet d''accélérer le mouvement de rotation. Le générateur transforme **l'énergie mécanique** ainsi créée en **énergie électrique** injectée dans le réseau en conformité avec les normes électriques applicables.

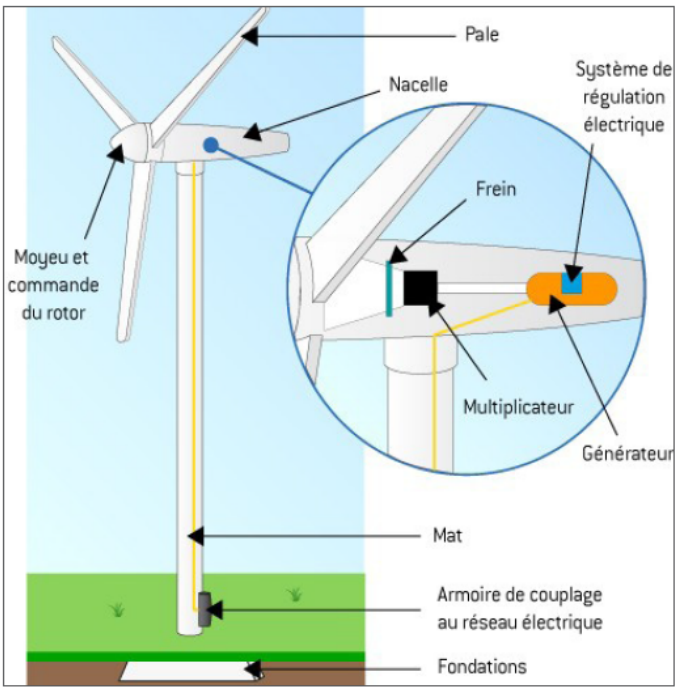


Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur
Source : L'ADEME

ATOUTS	CONTRAINTES
• Une source d'énergie propre et locale • Une source d'énergie prévisible et gérable (« Le foisonnement » permet de prévoir la production avec une précision suffisante pour assurer une bonne gestion par RTE de l'équilibre entre l'offre et la demande électrique • Une énergie qui fonctionne à des périodes (nuit) où d'autres énergies (exemple : solaire) ne vont plus fonctionner (• Une compétitivité croissante • Un secteur porteur d'innovations	• Des difficultés liées à l'éolien en milieu urbain (distance réglementaire par rapport aux habitations, turbulences, …) • Des enjeux acoustiques • Des enjeux paysagers • Un impact faible sur la biodiversité (avifaune, chiroptères), mais qui doit être pris en compte : des études préliminaires à l'implantation des éoliennes sont menées. • Des distances d'éloignement à respecter avec les radars d'observation (militaires, météorologiques, aviation civile) pour éviter des interférences. • Moins stable que le solaire • Une énergie qui connait des intermittences.

Tableau des atouts et contraintes de l'énergie éolienne

On distingue les types d'éoliennes en fonction de leur puissance et de leur taille

- **Le « grand éolien »** dont la puissance dépasse 350 kW et pour lequel on utilise des machines à axe horizontal munies, dans la plupart des applications, d'un rotor tripale.
- **Le « moyen éolien »** dont la puissance varie entre 36 kW et 350 kW.
- **Le « petit éolien »** (ou éolienne domestique) concerne les machines dont la puissance est inférieure à 36 kW et dont la hauteur du mât est inférieure à 35 mètres. Le diamètre du rotor est aussi inférieur à 15 m. En France, le petit éolien reste peu développé

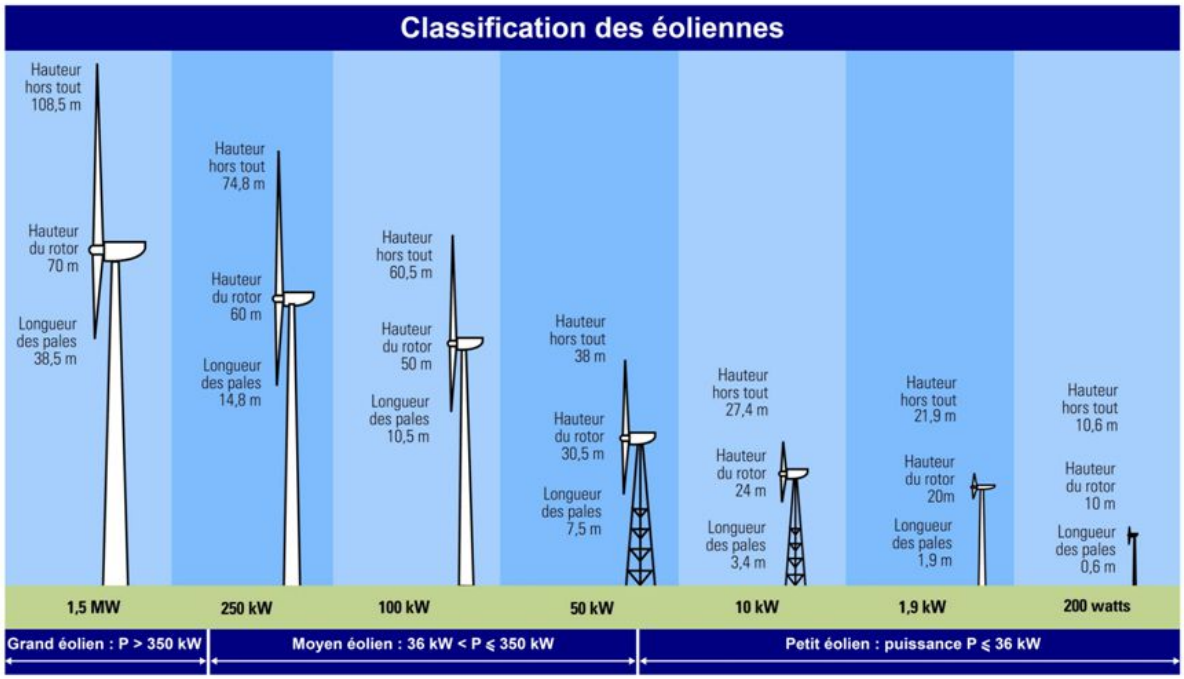
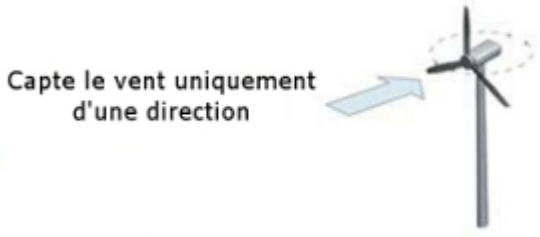


Photo d'éoliennes de grande taille

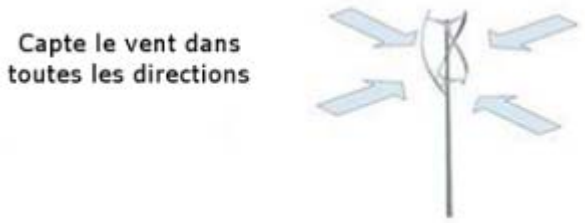
Photo d'une éolienne domestique

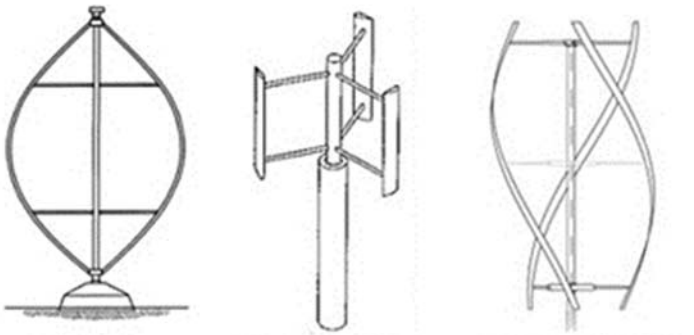
Les éoliennes se divisent aussi en deux catégories, les modèles horizontaux et les modèles verticaux, qui se distinguent selon l'orientation de leur axe de rotation.

- **L'éolienne horizontale** est le modèle le plus employé. Elle capte le vent (de face ou de dos selon le modèle) grâce à des pales assemblées en hélice. Celles-ci tournent autour d'un mât placé horizontalement par rapport au sol. Le générateur, actionné par la rotation de l'hélice, et situé en haut de l'éolienne. C'est la plus utilisée par les particuliers car son rendement est plus important, mais elle est responsable de nombreuses nuisances non négligeables.



- **L'éolienne verticale** est, pour l'heure, moins répandue. Les pales de l'éolienne verticale tournent autour d'une tige positionnée verticalement, comme son nom l'indique. Elle peut capter des vents plus faibles ce qui lui permet d'être plus fréquemment exploitée. Elle demande moins d'espace qu'une éolienne horizontale. Elle s'adapte donc mieux aux bâtiments. Elle peut fonctionner quel que soit le sens du vent. Ces caractéristiques font d'elle une solution très intéressante, notamment pour les éoliennes domestiques. Par contre, elle produit moins d'électricité que l'éolienne horizontale.





Les professionnels définissent la puissance, la taille de l'aérogénérateur en fonction de l'objectif recherché :

- vente au réseau : grande éolienne
- autoconsommation : micro et petite éolienne
- mixte : autoconsommation et vente du surplus : petite et moyenne éolienne.

La figure suivante extraite de la fiche technique éolien réalisée par la DDTM 35 donne un ordre d'idée de la relation entre la production recherchée, la puissance de l'éolienne et la hauteur associée.

Type	Utilisation	Puissance (KW)	Hauteur (nacelle) (m)	Production annuelle (MWh)	Nombre de ménages (5 MWh/an)
Micro	Domestique	0,5 – 5	< 12m	1 – 10	0.25 - 2
Petite	Domestique/ agriculteurs	5 – 50	12 – 30	10 – 100	2 – 20
Moyenne	PME/industrie	50 – 250	30 - 50	100 – 500	20 - 100
Grande	Production en masse	> 250	> 50	> 500	> 100
Valeurs pour les grandes éoliennes actuelles		1 000 KW (1 MW)	60—80	1 200—2 300	240—460
Données EDF Enbrin et DDTM35		2 000 kW (2 MW) (évolution 3MW)	80—120	2 900— 5 500	580—1 100

5.2. Les aspects réglementaires

Type	Hauteur d'éolienne	Réglementation
Petite	H <12 m	• Déclaration préalable de travaux
Moyenne	12 m < H < 50 m	• Permis de construire obligatoire (R.421-2 du Code de l'Urbanisme). Le permis est délivré par le maire lorsque la production est destinée à l'autoconsommation, ou par le préfet lorsqu'elle est destinée à la vente • Evaluation environnementale. • Soumises à déclaration au titre de la législation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE),
Grande	H >50 m	• Permis de construire obligatoire • Evaluation environnementale • Enquête publique • **Soumises à autorisation au titre de la législation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) :** - **Elles doivent être situées à plus de 500 mètres des zones destinées à l'habitation ;** - Elles doivent se conformer à de nouvelles prescriptions réglementaires encadrant leur implantation et leur exploitation

5.3. Les atouts et contraintes

	ATOUTS	CONTRAINTES
Grand éolien 	• Après son temps de fonctionnement (environ 20 ans), une éolienne est entièrement démontable et recyclable. La fondation en béton peut elle aussi être retirée • La période de haute productivité, situé 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	• Fort impact paysager • Nuisances sonores à proximité immédiate • Risque très faible de collision des oiseaux avec les pales • Production d'énergie en fonction du vent et non de la consommation • Localisation de l'installation dépendante de la ressource
Petit et moyen éolien 	• Production d'électricité fiable et peu coûteux • Après son temps de fonctionnement (environ 20 ans), une éolienne est entièrement démontable et recyclable. La fondation en béton peut elle aussi être retirée • Possibilité d'injecter l'électricité sur le réseau ou de la consommer sur place • Possibilité d'intégrer les petites éoliennes au bâti	• Impact visuel • Production d'énergie en fonction du vent et non de la consommation • Coût important • Retour sur investissement important • Nuisances sonores faibles • Dans le cas d'installations pour votre, propre consommation, il est nécessaire de recourir au stockage par des batteries o pour faire face aux périodes de vent faible, ce qui augmente le coût

5.4. Le coût d'une installation d'éolienne

L'aspect financier présenté ici ne concerne uniquement le petit éolien, étant donné que le grand éolien ne peut se faire sur le site d'étude.

a) Les coûts d'installation

- Le budget d'une installation éolienne se scinde en plusieurs compartiments :
- Le coût d'achat du matériel,
- Le coût de la prestation d'installation
- Le coût d'exploitation et les frais d'entretien

Le coût d'achat de l'éolienne s'établit majoritairement en fonction de la puissance qu'elle peut générer, mais aussi de sa taille, de son type, du potentiel éolien du site et de son utilisation. Selon les modèles, le prix des appareils peut osciller **entre 3000 et 15000 €, pour une éolienne de puissance nominale comprise entre 1 et 10 kW** (entre 1000 et 1500 euros pour une éolienne de 200 W). Mais le coût peut quasiment tripler, pour une installation destinée à une autoconsommation, d'une puissance nominale de 20 kW.

Au-delà du prix du matériel, le coût de l'installation d'une éolienne domestique englobe les travaux d'ancrage, la liaison avec le bâtiment ou le réseau électrique. Dans le cadre d'une revente de votre production électrique, il faut compter les frais de raccordement au réseau et de pose d'un compteur. En définitive, le coût d'installation varie, lui aussi, en fonction de la puissance, de la taille du mât, de la nature du lieu à équiper, allant de 5000 à 80 000 euros.

La rentabilité d'une éolienne domestique s'établit sur le long terme, à l'image de leur durée de vie maximale (entre 20 et 30 ans). Dépendant entièrement de la vitesse du vent, très variable d'une zone à l'autre, il est très difficile de donner des indications précises.

b) Les coûts de fonctionnement

Les éoliennes doivent être régulièrement entretenues, pour avoir une durée de vie correcte (estimée à 100 000 heures, ou une vingtaine d'années). Certaines tâches d'entretien sont mineures et doivent être réalisées tous les 3 ou 6 mois, tandis que d'autres doivent être faites annuellement.

- Resserrage des écrous et connexions électriques,
- Vérification des niveaux d'huile,
- Contrôle du niveau de corrosion,
- Test de la tension des haubans,
- Examen des engrenages et pas des pales,
- Bords d'attaque des pales et remplacement si nécessaire, Etc.

Bien sûr, les plus petites éoliennes ne requièrent pas beaucoup d'entretien, mais elles sont aussi, moins fiables et moins durables

c) Aides

Le seul mécanisme incitatif était le crédit d'impôt transition énergétique. Cependant, depuis le 1er janvier 2016 (Loi de Finance), l'installation d'une éolienne domestique n'est plus éligible au crédit d'impôt pour la transition énergétique.

D'autres aides restent cependant en place en réduisant l'investissement de départ :

- les aides de l'Anah
- la TVA à taux réduit de 10 %.

d) Tarif de rachat

Le tarif de rachat varie si le projet se trouve ou non dans une zone de développement éolien (ZDE).
En zone de développement éolien (ZDE), EDF a l'obligation de racheter chaque kWh que l'éolienne injecte sur le réseau. Le contrat de rachat par EDF est normalement garanti pendant 15 ans. Le tarif est non seulement le moins élevé de toutes les énergies renouvelables en France, mais aussi le plus faible d'Europe.

Par contre, hors ZDE, ce qui est le cas pour La Bouëxière, que l'éolienne injecte la totalité ou seulement une partie de sa production sur le réseau, EDF n'est pas réglementairement tenue d'acheter l'électricité. Seuls, les fournisseurs d'énergie dit RTE (Réseau de transport d'électricité) peuvent racheter le surplus, mais ils n'ont aucune obligation de le faire et le prix est fixé librement.

5.5. Le contexte climatique local lié au vent

a) Gisement éolien

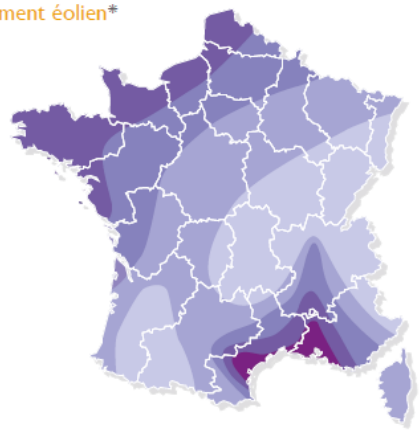
La France bénéficie d'un gisement éolien important, le deuxième en Europe, après les Îles britanniques. Les zones terrestres régulièrement et fortement ventées se situent sur la façade ouest du pays, de la Vendée au Hauts de France, en vallée du Rhône et sur la côte languedocienne.

La Bretagne possède le deuxième potentiel éolien de France derrière le Languedoc-Roussillon. En Bretagne, la vitesse des vents, au-dessus de 50 m est supérieure à 5 m/s. C'est pourquoi, la région a fait de cette énergie renouvelable un des piliers de sa politique énergétique.

Carte du gisement éolien en France

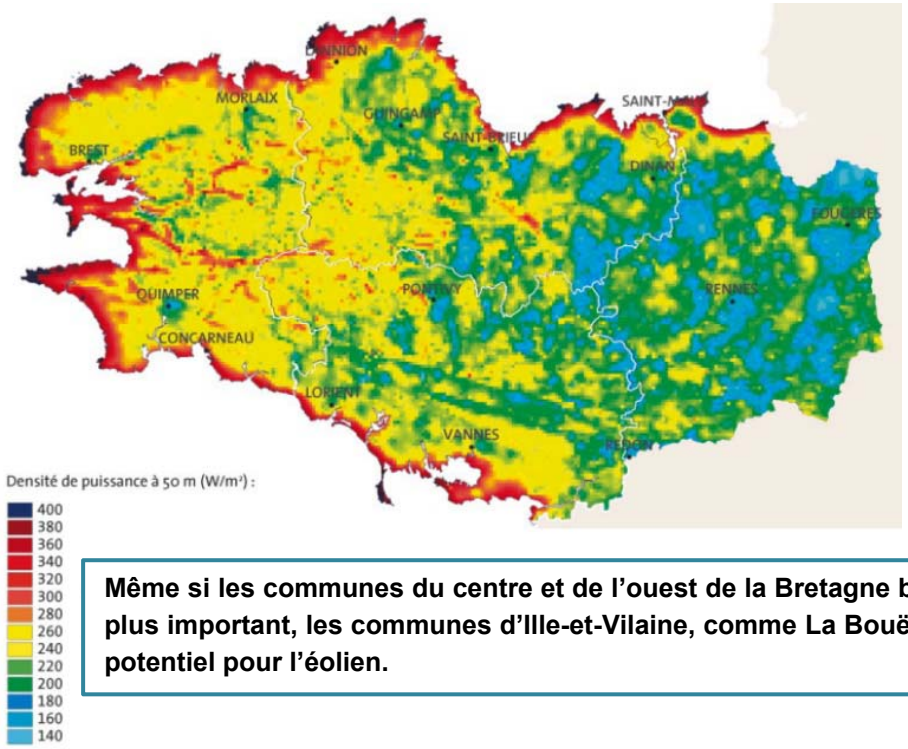
La commune de La Bouëxière se situe en zone 4 (bon potentiel) et la vitesse des vents à 50 m au-dessus du sol avoisinent les 6 m/s.

Le gisement éolien*
(en m/s)



	Bocage dense, bois, banlieue	Rase campagne, obstacles épars	Prairies plates, quelques buissons	Lacs, mer	Crêtes, collines**
ZONE 1	<3,5	<3,5	<5,0	<5,5	<7,0
ZONE 2	3,5 - 4,5	4,5 - 5,5	5,0 - 6,0	5,5 - 7,0	7,0 - 8,5
ZONE 3	4,5 - 5,0	5,5 - 6,5	6,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,5 - 10,0
ZONE 4	5,0 - 6,0	6,5 - 7,5	7,0 - 8,5	8,0 - 9,0	10,0 - 11,5
ZONE 5	>6,0	>7,5	>8,5	>9,0	>11,5

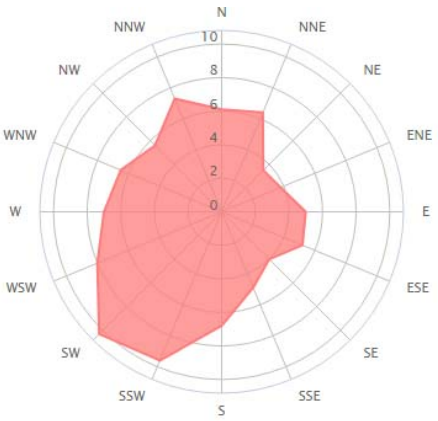
* *Vitesse du vent à 50 mètres au-dessus du sol en fonction de la topographie.*
** *Les zones montagneuses nécessitent une étude de gisement spécifique.*



Densité de puissance du vent en Bretagne

Même si les communes du centre et de l'ouest de la Bretagne bénéficient d'un potentiel plus important, les communes d'Ille-et-Vilaine, comme La Bouëxière, présentent un bon potentiel pour l'éolien.

Les données météorologiques les plus proches sont enregistrées à la station de Rennes. La rose des vents présentée montre que les vents sont majoritairement orientés sud-ouest. La vitesse du vent moyenne constatée au court d'une année est de 8 nœuds, soit environ 14 km/h.



Distribution de la direction du vent sur Rennes en %)
Source : windfinder.com

Ces données sur le potentiel éolien concernent essentiellement le grand éolien. En effet, étant donnée les faibles hauteurs de mâts en jeu, la réalisation d'un atlas ou d'une cartographie de potentiel pour le petit éolien nécessiterait une approche très spécifique. Aussi, il n'y a pas d'atlas ou de cartographie nationale de potentiel à proprement parler pour le petit éolien en France.

Mois de l'année	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Année
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Direction du vent													
Probabilité du vent >= 4 Beaufort (%)	26	32	32	25	23	19	20	18	17	18	22	24	23
Vitesse du vent moyenne (kts)	9	9	9	8	8	8	8	8	7	8	8	8	8
Temp. de l'air moyenne (°C)	7	8	10	13	16	19	21	21	19	15	11	8	14

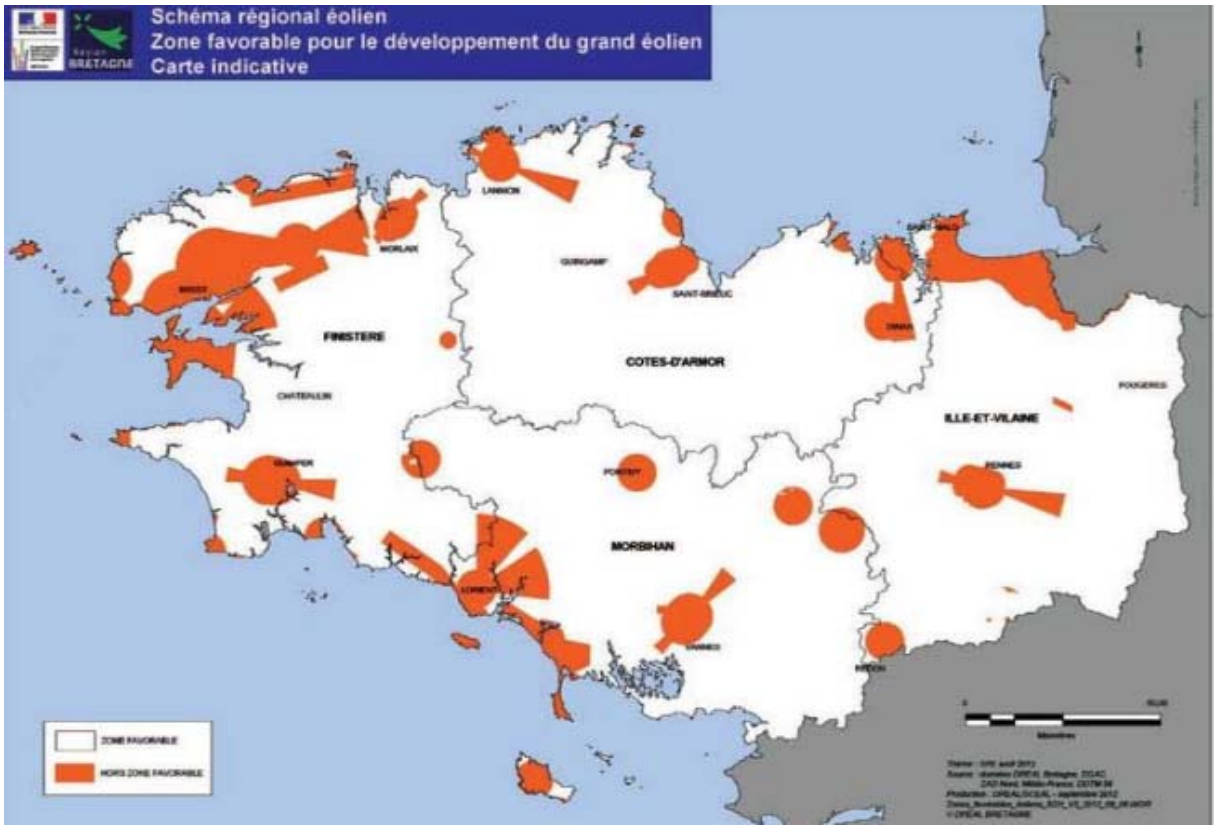
Statistiques des vents à Rennes (Source : windfinder.com)

Sur le site du projet, le terrain est exposé aux vents d'ouest/sud-ouest et le relief et la végétation ne représentent pas d'obstacles majeurs malgré la présence de grands arbres notamment sur la partie nord du site.

b) Schéma régional éolien

Le schéma régional éolien breton avait été arrêté par le préfet de région le 28 septembre 2012. Il établissait à titre indicatif, la liste des communes situées en zones favorable à l'éolien, dont ne faisait pas partie La Bouëxière. Ce schéma a cependant été annulé par un jugement du Tribunal Administratif de Rennes du 23 octobre 2015

La cartographie identifie les zones où le gisement éolien est propice au développement du « grand éolien », avec des aérogénérateurs dont la dimension peut dépasser 150 m de haut. En revanche, elle ne précise pas le potentiel éolien pour des installations de type « petit éolien », qu'elles soient traditionnelles (éolienne domestique sur mat ou de nouvelle génération (intégrées au bâti, axe vertical…)



Carte des zones favorables à l'éolien en Bretagne

6. L'ENERGIE HYDRAULIQUE (ELECTRICITE)

La production d'électricité à partir d'énergie hydraulique se décline en 2 types :

- L'hydro-électricité marine (Marées, courants marins, houle.)
- L'hydroélectricité issue des rivières (débits des rivières)

6.1. Energie hydraulique marine

La Bouëxière n'est pas une commune littorale. Il n'y a donc pas de potentiel pour développer l'énergie hydraulique marine.

6.2. Energie hydraulique des rivières

Aucun cours d'eau n'a été inventorié sur le site d'étude. Le site de la Tannerie ne possède donc pas de potentiel pour développer l'énergie hydraulique issue de cours d'eau.

7. L'AEROTHERMIE (CHAUFFAGE, EAU CHAUDE SANITAIRE)

7.1. Le fonctionnement général de l'aérothermie

a) Définition

A la différence de la géothermie qui puise la chaleur dans le sol, l'aérothermie puise cette chaleur dans l'air. L'air ambiant extérieur stocke chaque jour l'énergie que dispense le soleil. Il est possible de récupérer et d'amplifier cette énergie pour ensuite s'en servir pour le chauffage des bâtiments. Le système permettant cette valorisation de l'énergie de l'air est la pompe à chaleur (PAC) aérothermique. Potentiellement, un tel système peut également être utilisé pour la production d'eau chaude sanitaire.

b) Principe de fonctionnement

L'air est en effet chauffé par les rayons du soleil de manière perpétuelle. L'aérothermie va permettre de récupérer cette chaleur alors même qu'il fait froid. Jusqu'à -15°/-20° ce système est tout à fait valable, puisque chaque Kwh dépensé pour extraire l'air rapporte 4Kwh de chauffage. A ce jour, l'aérothermie reste le système le plus performant en matière de chauffage d'autant que l'installation est assez simple. Puisant de l'énergie dans l'air, la pompe à chaleur aérothermique est une sorte de gros ventilateur qui débouche sur un échangeur d'air. Ce système fonctionne un peu comme un climatiseur qui serait inversé pour produire de la chaleur.

L'aérothermie fonctionne selon deux principes distincts :

- **La pompe à chaleur (PAC) Air-Eau** récupère la chaleur dans l'air extérieur pour la retransmettre à l'eau d'un réseau de radiateurs. Si les performances de la pompe à chaleur air-eau sont très intéressantes et permettent de réaliser des économies d'énergie, il est important de souligner que la présence d'un système de chauffage d'appoint est souvent nécessaire lorsque les températures deviennent négatives. Lorsque la pompe à chaleur ne fonctionne pas, une résistance électrique chauffe l'eau sanitaire. On préférera néanmoins pour la production d'eau chaude sanitaire, l'utilisation d'un « Chauffe-Eau Thermodynamique » (CET). Il s'agit là d'un système indépendant composé d'un ballon à accumulation et d'une petite pompe à chaleur dédiée. Attention, le chauffe-eau thermodynamique n'est pas adapté à un usage familial de 2 à 4 personnes, mais réservé à des familles nombreuses (plus de 4 personnes). Enfin, la pompe à chaleur Air-Eau peut être ''réversible'' si elle est installée sur un plancher chauffant. Elle peut rafraichir la maison en été.

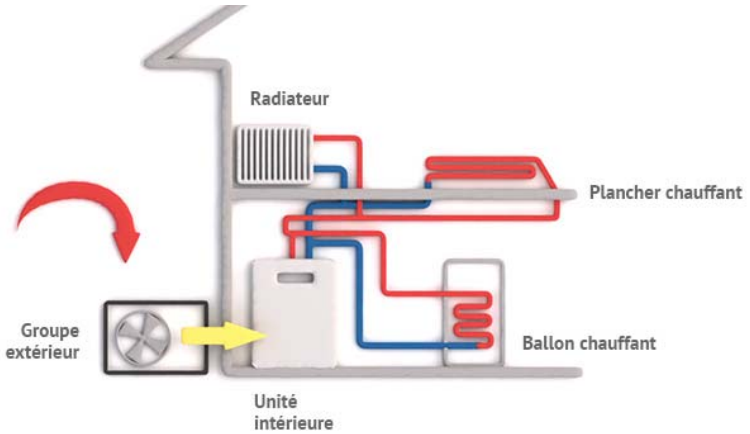


Schéma du fonctionnement d'une pompe à chaleur air-eau

- **La pompe à chaleur (PAC) Air-Air** : La pompe à chaleur Air-Air fonctionne aussi bien en tant que chauffage que climatiseur. En mode chauffage, elle récupère l'énergie calorifique présente dans l'air extérieur pour la retransmettre à un réseau de ventilo-convecteurs à l'intérieur du logement. La puissance de la pompe à chaleur Air-Air ainsi que le COP de la machine baisse quand la température extérieure baisse. Il est donc indispensable de faire dimensionner la pompe à chaleur par un professionnel qualifié QualiPAC. La pompe à chaleur Air-Air peut être ''réversible''. Elle peut jouer le rôle de climatiseur en été. La PAC air-air était jusqu'à peu surtout utilisée dans les bureaux mais elle gagne du terrain auprès des constructeurs de maison individuelle, notamment en raison des étés de plus en plus chauds,

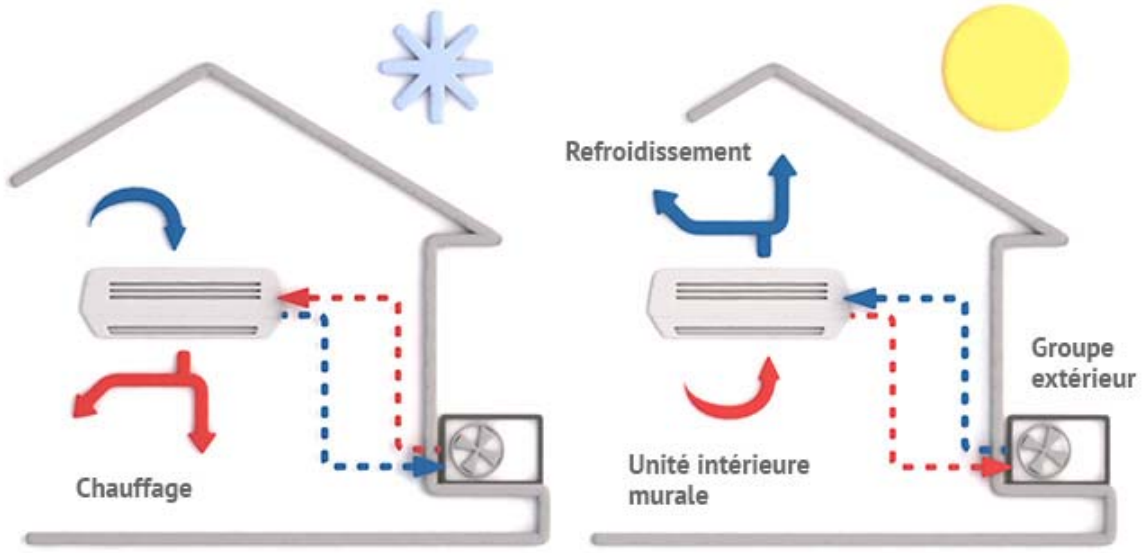


Schéma du fonctionnement d'une pompe à chaleur air-air

c) Performance

Les performances des PAC s'expriment par des coefficients qui rendent compte de leur efficacité en fonction de l'énergie qu'elles consomment (fonctionnement du compresseur).

Le COP est un coefficient de performance qui consiste en l'analyse de la performance énergétique d'une pompe à chaleur ou d'un climatiseur. Il représente le rapport entre la quantité d'énergie produite et la quantité d'énergie utilisée. L'indice de performance est le nombre de kWh produit pour 1 kWh consommé. Le coefficient varie selon les systèmes de chaleur utilisés. Par exemple, plus le chiffre est élevé, plus le système est performant. Plus le coefficient est élevé, plus la consommation en énergie est faible et la facture d'électricité diminue. Le coefficient maximal est 7. Pour 1 kWh consommé, les PAC restituent pour la plupart 2 à 4 kWh de chaleur. Leur COP en mode chauffage varie donc généralement de 2 à 4.

A l'inverse, l'appellation EER (coefficient d'efficacité frigorifique) traduit l'efficacité du système lorsqu'il produit du froid.

Globalement, on considère que l'utilisation d'une PAC aérothermique pour le chauffage d'un bâtiment permet d'économiser environ 65 % d'énergie effectivement nécessaire. Ces 65% correspondent à la part renouvelable (chaleur de l'air extérieur) de l'énergie nécessaire au chauffage du bâtiment.

7.2. Les aspects réglementaires

L'installation d'une pompe à chaleur ne nécessite aucune autorisation administrative préalable.

7.3. Les atouts et contraintes

	ATOUTS	CONTRAINTES
PAC aérothermique en général	• Utilisation simple • Adaptable à un système de chauffage existant. • Investissement moindre qu'avec une PAC géothermique, rentable plus rapidement. • Solution énergétiquement intéressante (de l'ordre 4 kW thermique produit pour 1 kW électrique consommé) dans les régions tempérées.	• Utilisation d'électricité pour fonctionner. • Nécessite l'usage d'un fluide frigorigène (impact sur l'effet de serre). • COP moyen annuel faible • Rendement dépendant de la température extérieure : Concrètement, plus l'air est froid, moins les pompes sont performantes. En cas de gelée, l'aérothermie aura besoin d'un plus fort appoint électrique qui peut faire grimper une facture. Il peut être alors nécessaire de recourir à un chauffage d'appoint. Si vous ne souhaitez pas rencontrer ce type de problèmes, il est préférable d'opter pour une chaudière hybride qui combine deux énergies distinctes dont une renouvelable. La plupart du temps il s'agit d'une pompe à chaleur et d'une chaudière à gaz. • PAC parfois bruyantes : attention au choix de l'emplacement
PAC Air-Air	• Récupère la chaleur de l'air extérieur pour chauffer l'air intérieur du bâtiment • Rafraichissement de l'air (en été) très bien maitrisé : système réversible. • Un grand confort thermique • Coût plus faible que la PAC Air-Eau	• Nécessite un chauffage d'appoint • Ne peut pas assurer la production d'eau chaude sanitaire.
PAC Air-Eau	• Récupère la chaleur de l'air extérieur pour le restituer à l'eau des émetteurs de chauffage. • Permet en partie de produire de l'eau chaude sanitaire. • Rafraichissement de l'air possible. • Moins coûteuse qu'une PAC géothermique, pose comprise	• Niveau sonore de l'unité extérieure • Avoir un emplacement idéal pour l'unité extérieure • Performances qui varient en fonction de la température • Nécessite un chauffage d'appoint (un poêle à bois ou à granulés par exemple) • Plus coûteux qu'une PAC air-air

7.4. Le coût d'une installation en aérothermique

a) Les coûts d'installation

La pompe à chaleur (PAC) représente un investissement. Elle est plus chère à l'achat que les chaudières classiques mais elle permet de diviser par 3 ses dépenses de chauffage. Il s'agit donc d'une solution économique qui peut être amortie en quelques années.

Les prix des systèmes aérothermiques sont très variables selon le type et la destination de l'installation.

En moyenne, on considère, pour **une pompe à chaleur (PAC) air-air** d'une puissance de 10 kW, un coût de l'ordre de **4000€ à 10000**€. Doivent y être ajoutés les coûts liés aux équipements complémentaires du système aérothermique.

Une **pompe à chaleur (PAC) air-eau** est plus coûteuse. Le coût moyen varie donc entre **8000 € et 18000** €.

b) Les coûts de fonctionnement

Un entretien est obligatoire une fois par an si la charge en fluide frigorigène dépasse 2 kg soit une puissance de l'appareil d'environ 12 kW. Le groupe extérieur et les unités intérieures doivent être nettoyés régulièrement pour en assurer la pérennité et maintenir la qualité de l'air. Cet entretien peut prendre la forme d'un contrat annuel avec l'installateur pour un prix allant de 100 € à 300 € par an. Ce contrat prendra en compte le déplacement gratuit de l'installateur en cas de panne de la pompe à chaleur.

c) Les aides possibles pour financer son projet

Contrairement aux installations de PAC air-air, depuis le 1er septembre 2014, les installations de PAC air-eau bénéficiaient d'un crédit d'impôt de 30 % sur le montant du matériel. A compter du 1er janvier 2020, le CITE à 30% disparaît au profit d'une prime forfaitaire pour les ménages modestes et d'un crédit d'impôt forfaitaire pour les autres ménages.

Le coût d'acquisition peut être aussi réduit grâce à des subventions d'Etat, accordées par la région, le département, ou par l'Anah (Agence Nationale d'Amélioration de l'Habitat).

7.5. Le contexte climatique local

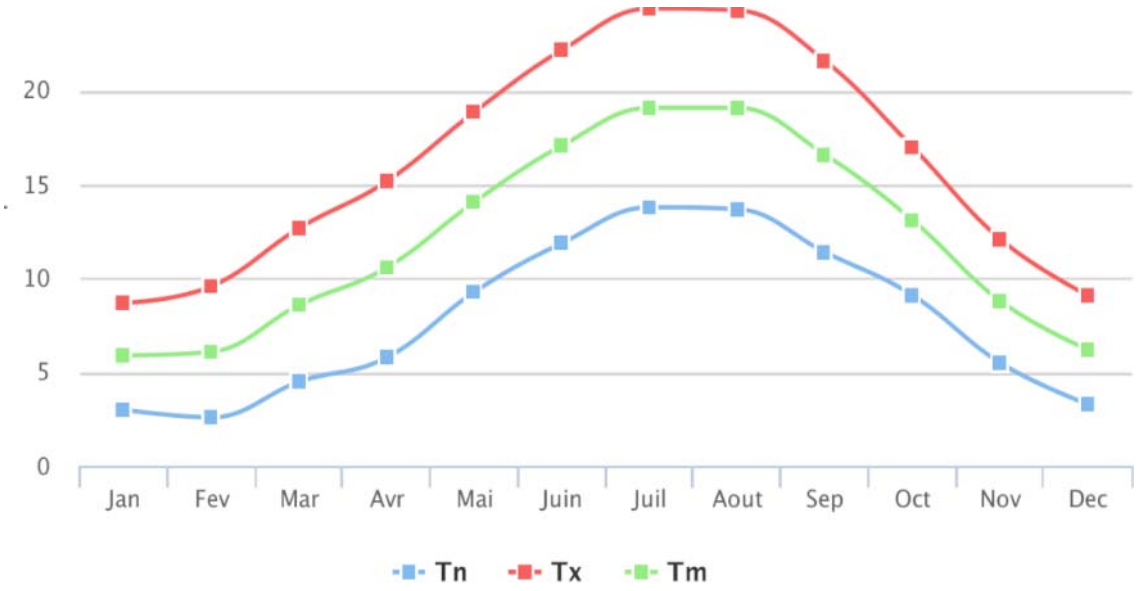
La climatologie a simultanément une influence considérable sur la demande énergétique des bâtiments, mais également sur le potentiel en énergies renouvelables d'un site donné. Le climat de l'Ille et Vilaine est un climat océanique tempéré avec des hivers doux et pluvieux et des étés frais et relativement humides.

D'après les relevés de température de Météo France, sur Rennes et les alentours, **la température moyenne annuelle est de 12°C**. Les amplitudes thermiques journalières et annuelles sont faibles. Les valeurs moyennes sont proches de 6°C en hiver et 18°C environ en été. Les températures minimales moyennes sont atteintes en février (3 °C) et les maximales moyennes en juillet-août (24 °C). Les jours de gel sont rares et les températures inférieures à moins 7 °C sont brèves et exceptionnelles (Zone 9 de rusticité des plantes).

Les températures sont caractérisées par des froids hivernaux peu marqués (aucune température moyenne mensuelle minimale négative) et des étés tempérés. L'écart entre les minimales et les maximales est quasiment identique toute l'année.

Ainsi, d'une manière générale, on peut affirmer qu'au niveau local, les hivers sont peu rigoureux. Ces données impliquent des besoins moyens en termes de climatisation des bâtiments, aussi bien pour le chauffage en hiver que pour le rafraichissement en été.

Annuellement, le nombre de degré jour unifié est de 2450. Pour donner un ordre d'idée, le DJU annuel varie en France de 1400 pour la Corse à 3600 dans les Alpes. Plus le nombre de DJU augmente, plus l'hiver sera rude.



Températures moyennes à Rennes - Source : Météo-France

8. LA GEOTHERMIE (ELECTRICITE, CHAUFFAGE)

8.1. Le fonctionnement général de la géothermie

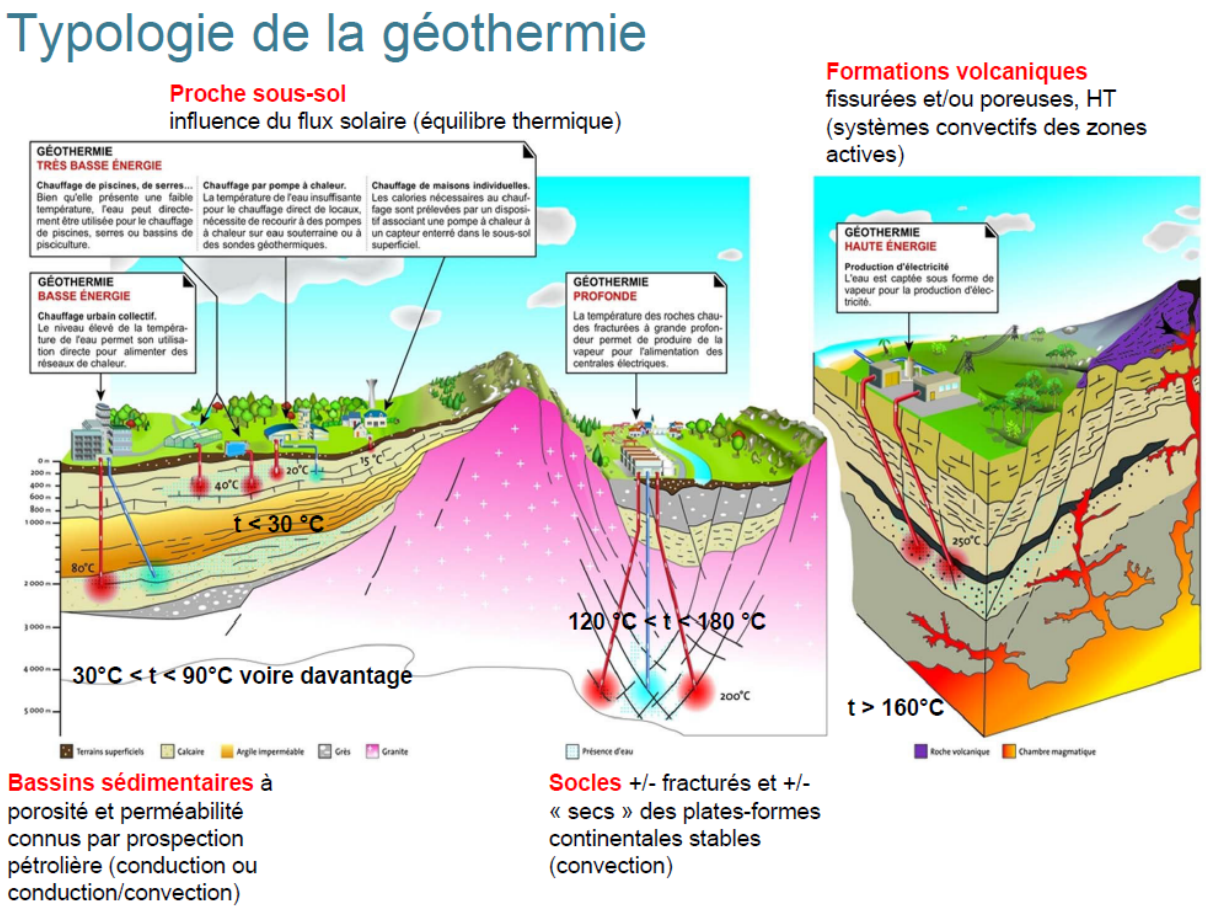
La géothermie, c'est l'exploitation de la chaleur stockée dans l'écorce terrestre, qu'elle soit stockée dans les nappes d'eau ou dans le sol.

L'énergie géothermique est présente partout à la surface du globe et peut être utilisée pour le chauffage, la climatisation ou la production d'électricité par le biais de différentes technologies.

Les gisements géothermiques peuvent être classés selon plusieurs critères en fonction :

- **de la ressource géologique** (utilisation du sol, des nappes superficielles ou profondes),
- du niveau de température de la ressource utilisée...

Le critère qui sert de guide pour bien cerner la filière est la température. Ainsi, la géothermie est qualifiée de « haute énergie » (plus de 150°C), « moyenne énergie » (90 à 150°C), « basse énergie » (30 à 90°C) et « très basse énergie » (moins de 30°C).

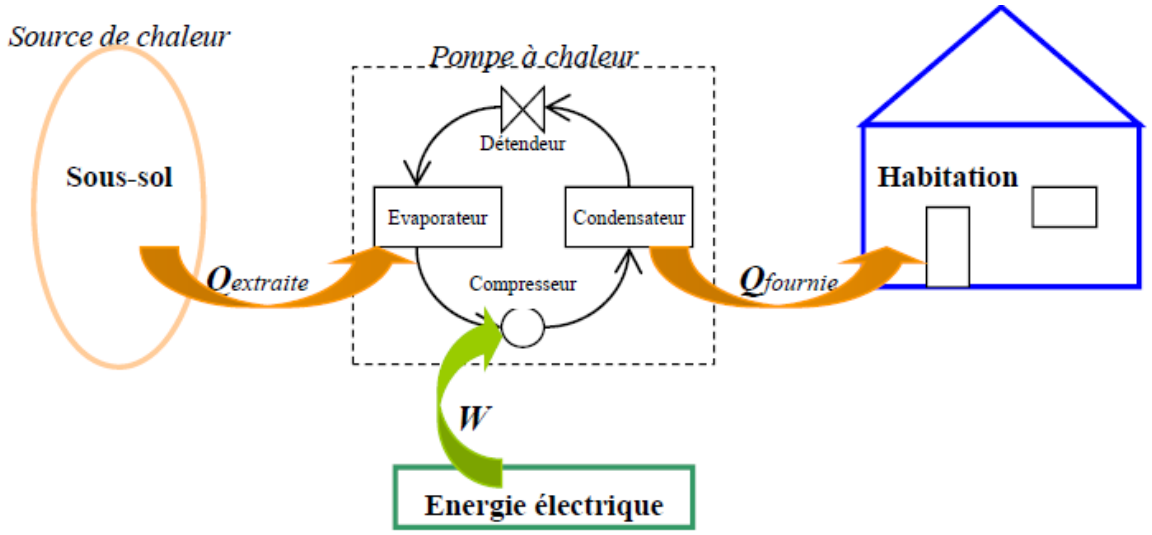


Les différents types de géothermie – Source : BRGM-ADEME

a) La géothermie très basse énergie (TBE) : la géothermie assistée par pompe à chaleur

La géothermie très basse énergie (TBE) s'applique aux nappes d'une profondeur inférieure à 100 m et à faible niveau de température (moins de 30°C). La géothermie très basse température exploite l'énergie présente dans le sous-sol, à quelques dizaines, voire centaines de mètres, dans les aquifères. La ressource géothermale peu profonde peut être valorisée à partir des eaux des nappes souterraines, mais aussi par l'emploi de capteurs horizontaux ou de sondes géothermiques.

La chaleur extraite est utilisée généralement pour assurer le chauffage et le rafraîchissement des locaux après élévation de la température au moyen d'une pompe à chaleur (PAC)[1]. En d'autres mots, une pompe à chaleur géothermique prélève la chaleur du sol ou des aquifères et la restitue à plus haute température dans les bâtiments



Le coefficient de performance (COP) d'une pompe à chaleur électrique correspond au rapport entre l'énergie électrique absorbée par la pompe et l'énergie thermique restituée.

$$COP = \frac{\text{Puissance calorifique restituée}}{\text{Puissance absorbée}}$$

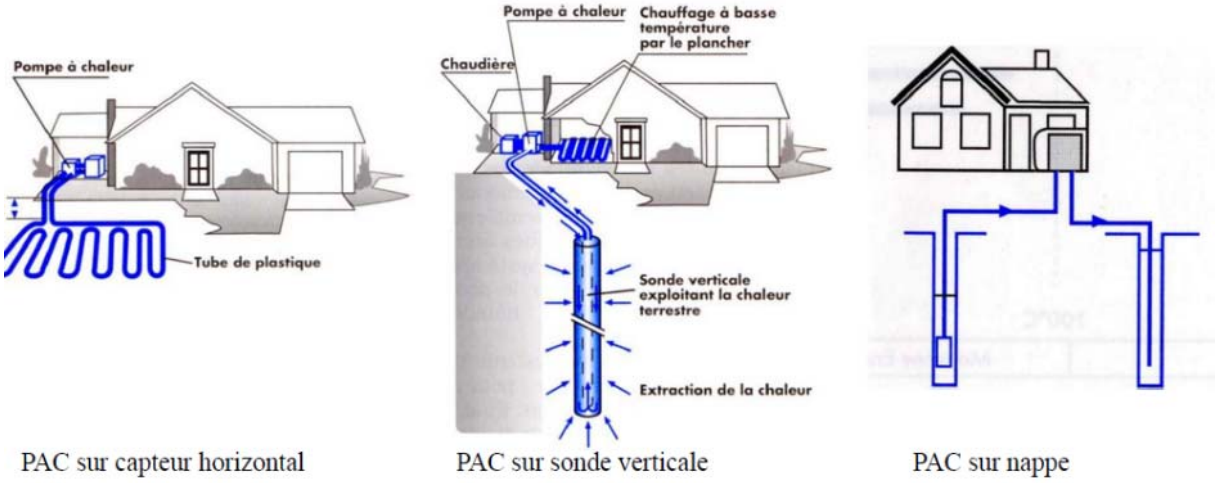
Un COP est toujours défini par des températures de fonctionnement : un COP (7°C ; 35°C) = 3 signifie que pour une température de la source froide à 7 °C et une température d'eau de chauffage de 35 °C, la pompe à chaleur consomme 1 kWh d'électricité pour produire 3 kWh d'énergie thermique. Le COP sera plus faible si la différence de température entre la source froide et la source chaude est plus élevée.

Aujourd'hui, les PAC sur nappes se développent très bien dans le secteur tertiaire pour le chauffage et la climatisation des locaux. Les PAC sur sol sont idéales pour le petit collectif ou le chauffage individuel. La géothermie à très basse énergie est donc particulièrement adaptée pour le chauffage de logements collectifs ou de locaux du secteur tertiaire.

[1] *Pompe à chaleur géothermique/ L'énergie thermique est pompée du sol*

Il existe 3 principales technologies de géothermie très basse énergie. Ces technologies peuvent toutes être des solutions réversibles (chaud et froid sur le même système: la pompe à chaleur) :

- Sur nappe (ou aquathermie) : Les opérations avec pompes à chaleur sur aquifères superficiels permettent de valoriser le potentiel thermique de ressources en eaux souterraines pour le chauffage et/ou le rafraichissement. L'eau souterraine est prélevée dans un aquifère situé généralement à moins de 200 m de profondeur. L'énergie de cette eau souterraine est valorisée à l'aide d'une pompe à chaleur, puis l'eau est réinjectée dans le même aquifère. Elle est surtout utilisée pour le collectif et le tertiaire.
- Sur sondes verticales : L'eau (ou eau glycolée) circule dans des sondes géothermiques pouvant atteindre jusqu'à 200M de profondeur. Il n'y a pas de contact entre le fluide caloporteur de la sonde et la roche. Le transfert de calorie se fait à travers les matériaux de la sonde, par conduction. La présence d'une nappe d'eau souterraine est valorisée à l'aide d'une pompe à chaleur, puis l'eau est réinjectée dans le même aquifère. Cette solution est à privilégier lorsque la surface au sol disponible est restreinte, notamment en milieu urbain.
- Sur sondes horizontales : Le principe de fonctionnement est le même que la géothermie verticale excepté que les capteurs sont disposés de manière horizontale. La surface de capteurs couvre généralement 2,5 à 3 fois la surface chauffée. En milieu urbain, cette solution est la moins adaptée et la moins performante parmi les systèmes de géothermie. La densité et l'emprise au sol des bâtiments sont importantes. Cette solution est plutôt réservée pour de l'habitat individuel rural car elle requiert beaucoup de surface au sol.



PAC sur capteur horizontal | PAC sur sonde verticale | PAC sur nappe

b) La géothermie basse énergie (BE),

La géothermie basse énergie (BE), appelée aussi basse température ou basse enthalpie, explore des aquifères situés entre 1 500 et 2 500 mètres de profondeur. La température atteint entre 30°C et 90°C, ce qui est trop faible pour produire de l'électricité, mais idéal pour produire de la chaleur.
Les applications vont du chauffage urbain au thermalisme, en passant par le chauffage des serres et le séchage des produits agricoles.

c) La géothermie moyenne énergie (ME),

La géothermie moyenne énergie (ME), aussi appelée moyenne enthalpie, explore le plus souvent des gisements d'eau chaude ou de vapeur humide compris entre 90 et 150°C. Dans les bassins sédimentaires, il faut atteindre des profondeurs de 2 000 à 4 000 mètres pour obtenir ces températures. Dans des zones plus propices, la géothermie moyenne énergie pourra être exploitée à moins de 1 000 mètres. Cette voie est utilisée pour produire de la chaleur, valorisée notamment dans des process industriels, et éventuellement de l'électricité.

d) La géothermie haute température (HE)

La géothermie haute température (HE) est utilisée pour la production d'électricité. Le principe de cette technique consiste à injecter de l'eau sous pression dans des roches chaudes profondes (entre 4 000 et 5 000 m de profondeur). L'eau est réchauffée (températures supérieures à 150°C) au contact des roches chaudes profondes et cède son énergie à une unité de surface produisant de l'électricité.

e) La géothermie profonde

La géothermie profonde assistée est une voie de recherche qui consiste à extraire la chaleur des roches chaudes fissurées situées entre 3 et 5 kilomètres de profondeur. Contrairement à la géothermie haute température classique qui exploite des réservoirs capables de fournir des débits de fluides élevés, la géothermie profonde assistée nécessite de stimuler les roches peu perméables en injectant de l'eau sous forte pression dans le sol.

f)Synthèse :

Type de géothermie	Caractéristiques du réservoir	Utilisations
Très basse énergie	Nappe à moins de 100 m Température < à 30°C	Chauffage et rafraichissement de locaux, avec pompe à chaleur En Bretagne, seule la géothermie très basse énergie est envisageable
Basse énergie	30°C < température < 150 °C	Chauffage urbain, utilisations industrielles, thermalisme, balnéothérapie
Moyenne et Haute énergie	180°C < température < 350 °C	Production d'électricité
Géothermie profonde	Roches chaudes sèches à plus de 3000 m	Au stade de la recherche, ou l'électricité ou le chauffage

Tableau synthétique des différents types de géothermie

8.2. Les aspects réglementaires

a) Géothermie très basse énergie sur nappes :

Code Minier : dossier de **DECLARATION** à faire à la DREAL, au plus tard un mois avant la réalisation des travaux, par lettre recommandé avec accusé de réception
Code de l'environnement « Loi sur L'eau » : **DECLARATION** OU A**UTORISATION**

Rubrique	Intitulé	Régime
Titre 1er : PRELEVEMENTS		
1.1.1.0	Sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau.	**DECLARATION**
1.1.2.0	Prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère, à l'exclusion de nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé, le volume total prélevé étant : 1° Supérieur ou égal à 200 000 m3 / an (A) 2° Supérieur à 10 000 m3 / an mais inférieur à 200 000 m3 / an (D).	Débit ≥ 200 000 m^3/an → **AUTORISATION** 10000 m^3/an <Débit < 200 000 m^3/an → **DECLARATION**
Titre V : RÉGIMES D'AUTORISATION VALANT AUTORISATION AU TITRE DES ARTICLES L. 214-1 ET SUIVANTS DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT		
5.1.1.0	Réinjection dans une même nappe des eaux prélevées pour la géothermie, l'exhaure des mines et carrières ou lors des travaux de génie civil, la capacité totale de réinjection étant : 1° Supérieure ou égale à 80 m3 / h (A) ; 2° Supérieure à 8 m3 / h, mais inférieure à 80 m3 / h (D).	capacité ≥ 80 m3/h → **AUTORISATION** 8 m^3/h <capacité <80 m^3/h → **DECLARATION**

ICPE (puissance, débits, distance des autres ouvrages…)
Garantie Aquapac® (couvre les risques géologiques liés à la possibilité d'exploitation)

b) Géothermie très basse énergie sur sondes verticales :

Code Minier : dossier de **DECLARATION** à faire à la DREAL, au plus tard un mois avant la réalisation des travaux, par lettre recommandé avec accusé de réception

8.3. Les Atouts et contraintes

	ATOUTS	CONTRAINTES
Pompe à chaleur géothermique (PAC eau/eau)	• Une ressource continue, qui ne connait pas d'intermittence (au contraire de l'éolien et du solaire) : disponible 24h/24h et 7jours/7jours • Une ressource écologique propre • Une ressource qui se renouvelle naturellement par le ruissellement des eaux de surface. Quant à la chaleur, elle est contenue dans la roche qui représente 90% ou plus du gisement. • La chaleur issue de la géothermie ne requiert aucun stockage spécifique (c'est le sous-sol qi sert de stockage). • Elle génère très peu de gaz à effet de serre. • Mutualisation possible si les bâtiments sont proches	• Une ressource difficile à trouver comme le pétrole. • Un investissement important. • Un risque géologique (couverture) • Des problèmes de bruit peuvent être générés par les pompes à chaleur dotées de modules extérieurs. • PAC sur capteurs horizontaux qui nécessite de disposer d'une grande surface pour son implantation • Impossibilité de plantation d'arbre sur la surface de captation pour les capteurs horizontaux • Croissance du prix en fonction de la profondeur pour les capteurs verticaux

8.4. Le coût d'une installation en géothermie

L'installation d'une pompe à chaleur sur sonde ou sur captage horizontale est d'environ 12 000 € à 15000 €HT.

Le coût d'une sonde de 100 m de profondeur est d'environ 5000 €HT et génère une puissance d'environ 2 kW. Cette technique nécessite une étude de faisabilité en amont afin de définir avec précision la nature du sol et donc la réponse thermique correspondant.

8.5. Le contexte géologique local et le gisement potentiel

a) Cadre géologique local

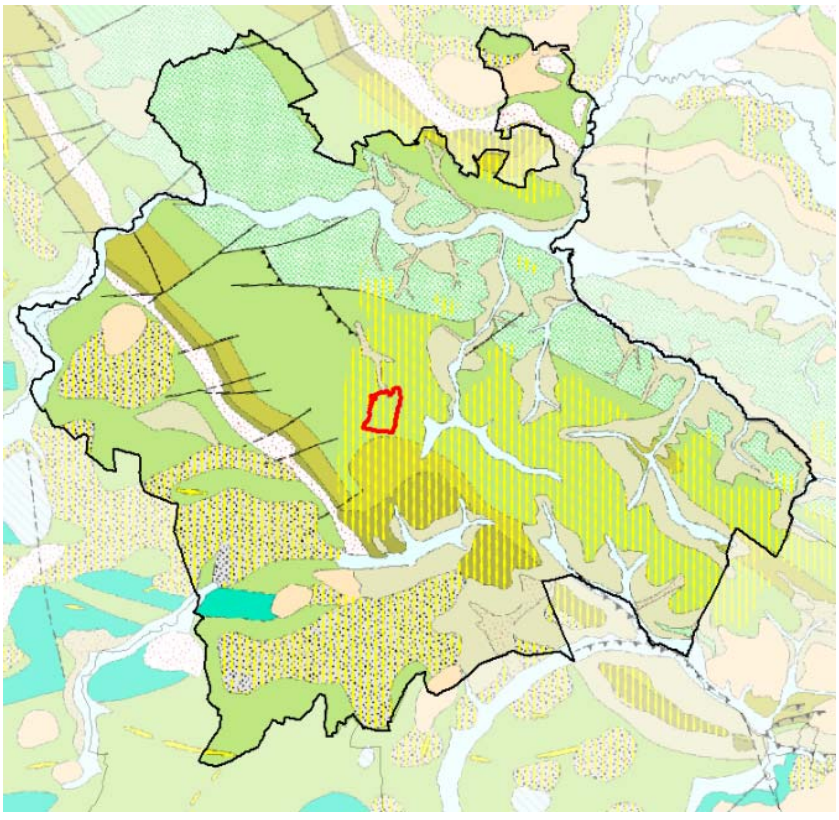
La commune de la Bouëxière se situe au cœur du domaine structural centre armoricain, composé d'un substrat schisto-gréseux, déformé par le Cisaillement Nord-Armoricain. Elle présente la particularité d'être localisée sur une petite structure paléozoïque, le pli synclinal de Liffré (en tirets noirs, figure suivante), bordé par le substrat briovérien.

Les terrains briovériens (600 MA) associant des faciès indurés (bC) et des faciès argileux tendres (bS) sont particulièrement altérés et parsemés d'abondants filons de quartz en forêt de Rennes et ses abords. Les terrains paléozoïques du synclinal de Liffré, beaucoup moins altérés que le substrat briovérien, sont constitués d'alternances de niveaux gréseux durs (grès armoricains, grès de St Germain) et de formations schisteuses plus tendres (formation d'Andouillé, formation du Val).

La formation paléozoïque la plus ancienne, le Grès armoricain (O2a) se présente sous la forme d'une bande longeant les deux flancs du pli. Ce matériel résistant par sa nature, forme une crête topographique boisée, et bien marquée, surplombant la dépression briovérienne. Les points hauts de la Bouëxière coïncident bien, dans sa limite sud, avec cette ligne gréseuse orientée WNW-ESE ("Roche pointue") et culminant à une altitude de 121 m NGF.

Le pli synclinal comprend la formation dite d'Andouillé (O2b-5a) au caractère schisteux, lui conférant un débit ardoisier, qui tranche avec les grès massifs de St-Germain-sur-Ille. Cette formation à dominante gréseuse a d'ailleurs fait l'objet d'exploitation sous forme de carrière (moellons pour la construction). Le cœur du synclinal, traversé par un affluent rive gauche du Chevré, qui constitue sa limite communale nord, est quant à lui occupé par un substrat à dominante argileuse (la formation du Val).

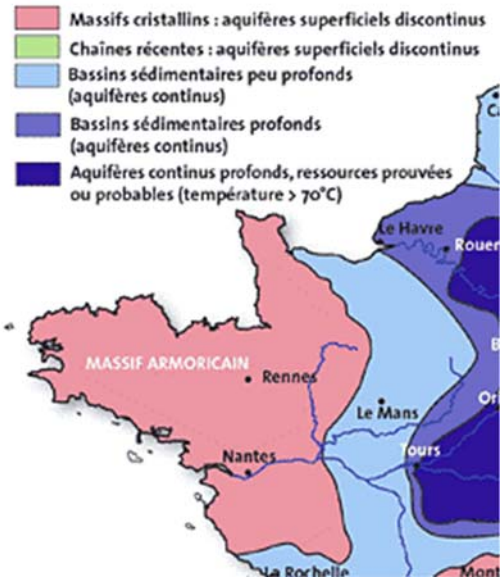
L'histoire quaternaire récente complète la description du contexte géologique. Des dépôts de colluvions (C), mélanges argilo-sableux se sont accumulés en bas de versants, et laissent place en aval, aux dépôts alluviaux (Fz), qui tapissent le fond actuel des cours d'eau.



Contexte géologique local

b) Gisement potentiel sur le site du projet

Comme l'illustre la carte ci-contre, la commune, comme le Grand Ouest dans son ensemble, se situe sur un massif cristallin contenant des aquifères superficiels discontinus. Ainsi, à la différence de régions comme L'Ile-de-France, le nord de la Normandie ou encore La Nouvelle Aquitaine, la géothermie à moyenne ou haute température n'est pas possible en Bretagne.



En revanche l'énergie, stockée en partie superficielle du sous-sol et les nappes peu profondes, peut être captée pour la production de chauffage. **En Bretagne, seule la géothermie très basse énergie est envisageable.** D'ailleurs, la Bretagne fait partie des régions les plus développées en matière de géothermie très basse température aux côtés de l'Alsace et de l'Ile-de-France. Ainsi, des nappes d'eau peu profondes (< 1000 m) présentant des températures moyennes forment le potentiel géothermique. La détection de ces aquifères nécessite des forages pour évaluer le potentiel de la zone.

La réalisation de forages est indispensable pour connaitre le potentiel géothermique du site de la Tannerie. Le BRGM (infoterre) présente une cartographie des forages déjà réalisés. Des ouvrages sont identifiés sur la commune, mais aucun au niveau du site du projet. A noter toutefois, à proximité, l'existence de plusieurs forages.

Il existe probablement un potentiel géothermique sur nappe exploitable sur le site du projet. Si la commune souhaite développer ce type d'énergie, la réalisation d'un forage test ainsi qu'une étude de faisabilité sont indispensables.

Ouvrages sans géologie mais documents disponibles
Ouvrages sans géologie ni document

Localisation des ouvrages aux environs du site du projet

9. LA RECUPERATION D'ENERGIE SUR LES EAUX USEES

9.1. Définitions et principes de fonctionnement

Les eaux usées, d'origine domestique, pluviale ou industrielle comprennent : les eaux ménagères ou eaux grises, les eaux vannes ou eaux noires (toilettes), les eaux d'arrosage (jardins), les eaux industrielles ainsi que les eaux pluviales.

Leur température moyenne est d'environ 15°C ce qui en fait une source de chaleur intéressante à exploiter grâce à la mise en place d'une pompe à chaleur. La chaleur des eaux usées est une énergie disponible en quantité importante en milieu urbain et donc proche des besoins.

La récupération de leur énergie thermique encore appelée « cloacothermie » s'appuie sur les mêmes principes techniques que ceux de la géothermie sur nappe, à la différence que les calories (ou les frigories) sont issues de nos propres rejets d'eaux, évacués au travers d'un réseau d'assainissement. Elle met en œuvre un échangeur capable de récupérer et de transférer cette énergie vers une pompe à chaleur qui est à même de porter un liquide caloporteur (eau pure ou glycolée) à une température adéquate pour répondre à des besoins thermiques donnés. Une fois leur énergie récupérée au travers de l'échangeur, les eaux usées reprennent leur cycle classique de collecte et d'assainissement.

Compte tenu de la température des eaux usées tout au long de l'année (moyenne autour de 15°C) et de leur faible variation entre l'hiver et l'été, la cloacothermie peut répondre à la fois à des besoins de chauffage en hiver et de rafraîchissement en été.

Ils existent différentes techniques de récupération d'énergie sur les eaux usées :

a) Dans les collecteurs du réseau d'assainissement (ouvrages assurant la collecte et le transport des eaux usées : canalisations, conduites, …)

Cette solution utilise la chaleur des effluents quel qu'en soit le type (eaux vannes et eaux grises), sans prétraitement nécessaire. Elle met en œuvre des échangeurs spécifiques qui sont :

- soit directement intégrés dans des canalisations neuves lors de leur fabrication
- soit rapportés et posés en partie basse des canalisations d'eaux usées existantes ou construites spécifiquement.

Elle nécessite des collecteurs de taille adaptée, non coudés sur une longueur suffisante et disposant d'un débit d'eaux usées minimum d'environ 15 l/s. En fonctionnement, cette solution comporte des contraintes d'exploitation liées à l'encrassement des échangeurs par ensablement et formation de biofilm dans le collecteur et à une limitation de baisse de la température des eaux usées à 5 K maximum après passage dans l'échangeur, pour ne pas perturber le process d'épuration en aval.
Ce système a l'avantage de pouvoir se situer proche des preneurs de chaleur. Couplé à une chaudière et une pompe à chaleur, un tel dispositif permet éventuellement d'alimenter un chauffage à distance.

b) Dans les stations d'épuration (STEP),

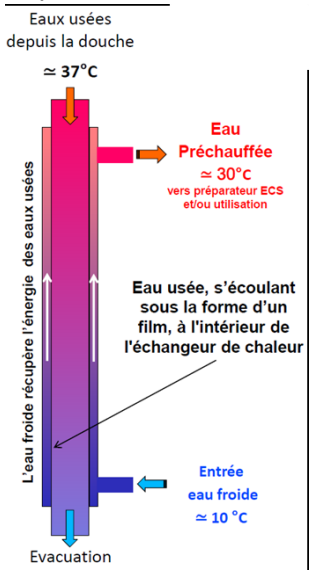
Cette solution utilise la chaleur eaux épurées (après traitement) et peut être mise en place dans l'enceinte de la STEP de capacité supérieure à 5000 équivalents logements, en amont du rejet des eaux épurées vers le milieu naturel. Elle peut théoriquement autoriser une liaison directe vers la pompe à chaleur et éviter ainsi la présence d'échangeur intermédiaire. La récupération de chaleur sur les eaux épurées en sortie de STEP peut être réalisée grâce à différents types d'installations et d'échangeurs : échangeurs à plaques, échangeurs multitubulaires (faisceau de tubes), échangeurs coaxiaux.
La station d'épuration de La Bouëxière, est implantée au nord du bourg et a été mise en service en 2004. Cet ouvrage est de type « Boues activées » et dispose d'une capacité nominale de 3100 Equivalents Habitants soit 730 m3 par jour en hydraulique et 186 Kg de DBO5/jour. La station ne présente donc pas à priori d'une capacité suffisante et est trop éloignée du site pour envisager d'alimenter le quartier par de la chaleur issue de la récupération d'énergie sur les eaux usées de la ville.

c) Dans les stations (ou postes) de relevage

La solution de récupération de chaleur des eaux usées au niveau des stations de pompage (ou postes de relevage) peut être aussi intéressante car ces stations sont situées en ville et donc proches des preneurs de chaleur. Le système utilise une fosse de relevage existante. Une partie des eaux usées est pompée de la fosse de la station de pompage avant STEP vers des échangeurs.

d) Au pied de bâtiments ayant une forte consommation d'eau (dans ce dernier cas, on parlera plutôt de récupération d'énergie thermique sur les eaux grises)

Cette solution nécessite obligatoirement une évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes. Elle peut permettre l'utilisation de matériel non spécifique aux eaux usées (échangeurs standards, PAC) et nécessite généralement des systèmes sophistiqués de filtrations et d'auto-nettoyage des échangeurs sur eaux usées. Cette solution capte la chaleur des eaux usées directement à la sortie de l'immeuble, grâce à un échangeur de chaleur installé dans une fosse dédiée à cette utilisation. Les eaux usées arrivent dans une cuve centrale. Le filtre retient les plus grosses particules dans la cuve et une pompe déverse quotidiennement les résidus accumulés dans la cuve vers le collecteur. Le niveau d'eau dans la fosse est maintenu suffisamment haut pour qu'il y ait déversement du trop-plein dans le tube intermédiaire puis vers le collecteur. Cette solution se différencie des autres précédemment citées car son domaine d'application privilégié est la production d'eau chaude sanitaire de l'immeuble. L'application au chauffage (et/ou à la climatisation) d'une installation de récupération de chaleur en sortie de bâtiments peut également être envisagée avec l'intégration au dispositif d'une pompe à chaleur.



e) Echangeur de chaleur sur l'eau des douches

Cette solution peut être mise en œuvre individuellement ou à l'échelle d'un bâtiment d'habitat collectif. Un échangeur de chaleur est posé directement sur la canalisation d'évacuation des eaux de douche et permet de récupérer environ 60% de la chaleur.

10. LE BOIS ENERGIE (CHAUFFAGE)

10.1. Les types de bois

a) Le bois buches

Les bûches et rondins, généralement de 25 à 50 cm de long, constituent la forme la plus brute de l'exploitation du bois énergie. Elles servent de bois de chauffage mais possèdent souvent un faible pouvoir calorifique en raison de leur humidité persistante. Le bois bûche représente encore près de 80% de la consommation française de bois énergie pour le chauffage domestique selon l'ADEME. Le prix du stère de bois de chauffage varie d'une région à l'autre. En Bretagne, il oscille entre 70 et 90 euros.

	ATOUTS	CONTRAINTES
Bûches et rondins	• Provenance souvent locale • Autoconsommation possible • Bon marché	• Ne permet pas une alimentation automatique • Manutention

Tableau des avantages et inconvénients des bûches et rondins

b) Les plaquettes forestières ou industrielles

Les plaquettes forestières ou industrielles sont des composites de quelques centimètres cube de bois déchiqueté. Elles sont produites à partir de résidus forestiers (branches, bois d'élagage, etc.) qui sont secs, ce qui permet d'obtenir un meilleur pouvoir calorifique du combustible. En Bretagne, on consomme en moyenne 450 000 tonnes de bois déchiquetés par an, essentiellement en provenance d'une quarantaine de fournisseurs bretons ou ligériens.

	ATOUTS	CONTRAINTES
Plaquettes forestières ou industrielles	• Valorisation des déchets forestiers	• Utilisables uniquement par des appareils automatiques

Tableau des avantages et inconvénients des plaquettes forestières ou industrielles

c) Les granulés de bois ou pellets

Les granulés (ou « pellets », terme anglais souvent employé) sont des cylindres de 1 à 3 cm de long constitués de copeaux ou de sciure de bois compacté. Leur taux d'humidité est très faible, autour de 10%.

	ATOUTS	CONTRAINTES
Granulés (ou pellets)	• Valorisation des déchets forestiers et de l'industrie du bois • Adaptés à tous appareils, automatiques ou semi-automatiques • Conditionnement en sacs ou en vrac • Pouvoir calorifique important • Peu de manutention et de salissement	• Produit très sensible à l'humidité • Plus cher que les bûches

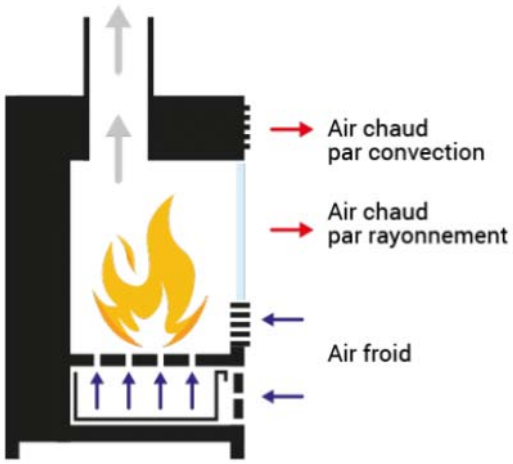
Tableau des avantages et inconvénients des granulés (ou pellets)

10.2. Les types d'installations pour chauffage individuel

Dans le cadre du projet, les habitants peuvent opter pour le bois comme principal moyen de chauffage. Il existe aujourd'hui plusieurs types d'installations individuelles de chauffage bois :

a) Les poêles à bûches (acier ou fonte)

Un poêle à bois (ou à bûches) est un système de chauffage ayant pour fonction de produire de la chaleur grâce à la combustion de bûches de bois. De conception robuste, le poêle à bois est constitué d'un foyer, dans lequel a lieu la combustion du bois, d'un habillage, nécessaire à la restitution de la chaleur, et de deux raccordements : un conduit d'évacuation des fumées et l'autre conduit d'arrivée d'air.

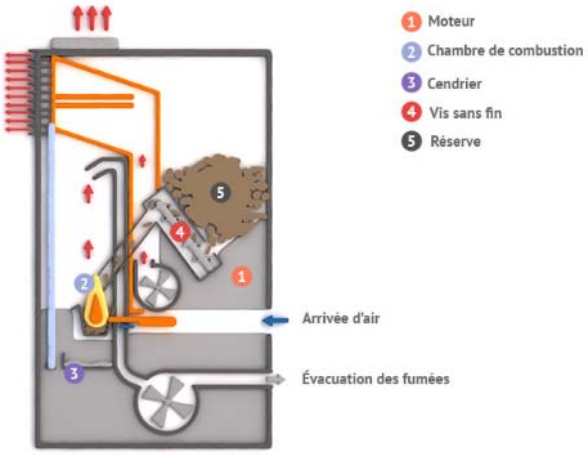


	ATOUTS	CONTRAINTES
Poêle à bois	• Moins cher qu'un poêle à granulés • Le bois de chauffage est un combustible facilement disponible et bon marché • Une solution de combustion écologique • Un entretien très simple. • Les poêles à bûches ont un rendement assez élevé à régime nominal (70 à 85 %)	• La nécessité de disposer d'un espace de stockage important, dans un environnement sec. • Une manutention nécessaire (veiller l'état de la flamme, être présent pour alimenter le foyer) • Une autonomie réduite • Leur inertie thermique est relativement limitée. • Un nettoyage du foyer régulier • Les poêles à bûches ont un rendement plus faible au ralenti.

Tableau des avantages et inconvénients du poêle à bois

b) Les poêles à granulés (acier ou fonte)

Appelé aussi poêle à pellets, le poêle à granulés est une nouvelle génération d'appareil de chauffage de petite ou moyenne puissance, fonctionnant avec des granulés de bois (pellets). L'allumage, l'extinction et l'acheminement du combustible en granulés sont automatiques en fonction du besoin de chauffage. La charge et la combustion sont modulées pour s'adapter à la température souhaitée. Le poêle à granulés peut être utilisé en système de chauffage principal si l'habitation est de petite surface (inférieure à 70m²). La puissance des appareils n'est en effet pas assez élevée pour pouvoir chauffer entièrement un logement plus grand.



	ATOUTS	CONTRAINTES
Poêle à granulés (ou pellets)	• Un grand confort d'utilisation (programmation de l'appareil, réglage de la température, de la soufflerie, …) • Une autonomie importante (plusieurs jours) • Une simplicité d'utilisation (le poêle à granulé est un appareil complexe. Mais il reste facile à utiliser. On appuie sur un bouton et le poêle démarre). • Une diffusion de la chaleur (Les modèles soufflant diffusent la chaleur rapidement et d'une manière homogène). • Un entretien rapide • Le rendement des poêles à granulés (supérieur à 85 %) est meilleur que celui des poêles à bûches (70 à 85 %) • Le fonctionnement d'un poêle à granulés n'occasionne pas d'odeurs, ni de polluants liées aux fumées de combustion dans les locaux à la différence d'une cheminée d'un insert ou un poêle dont le principal polluant est le benzène. • Le stockage se fait en sac ou en vrac • La combustion du granulé dans un poêle limite les cendres et donc leur élimination. • Les poêles à granulé peuvent être le chauffage principal d'une habitation. Mais ils sont aussi un bon chauffage d'appoint. Notamment lorsqu'ils sont associés à un chauffage par plancher chauffant.	• Un poêle à granulés coûte environ deux fois plus cher qu'un poêle classique à bois • La puissance des appareils n'est pas assez élevée pour pouvoir chauffer entièrement un logement de plus de 70 m² avec uniquement un poêle à granulés. • Certains modèles génèrent des nuisances sonores • La flamme est petite et ne remplace pas la convivialité d'un feu de bûches • Une dépendance à l'électricité dans son fonctionnement qui le rend inutilisable en cas de coupure d'électricité. • Le coût des ramonages (50 €) et du contrat d'entretien, réalisé par un professionnel (100 à 150 € pour un poêle à granulé). • Le réglage de l'appareil est primordial et n'est pas toujours évident. • Un nettoyage rapide mais régulier (aspiration des cendres, nettoyage de la vitre) • Le stockage des granulés dans un endroit sec (sacs de 15 kg)

Tableau des avantages et inconvénients du poêle à granulés (ou pellets)

c) Les chaudières

Alliant confort, efficacité et facilité d'utilisation, les chaudières à bois modernes chauffent le logement et produisent l'eau chaude sanitaire.

- Les chaudières à bûches sont à chargement manuel. Elles nécessitent un espace de stockage conséquent. Pour un résultat satisfaisant, les bûches doivent être à moins de 20% d'humidité.
- Les chaudières à granulés ou à plaquettes sont en général à chargement automatique, ce qui les rend aussi simple à utiliser que les chaudières classiques à fioul ou à gaz. Pour un rendement optimal de l'appareil, les plaquettes doivent être à moins de 30% d'humidité, de petite granulométrie, homogènes et sans corps étrangers. Les granulés sont le combustible bois le plus efficace et doivent être à moins de 10% d'humidité.

	ATOUTS	CONTRAINTES
Chaudière granulés	• Une automatisation équivalente à une chaudière fioul ou gaz • Un rendement très fort • Une autonomie très importante • Un temps d'entretien limité	• Le coût de la chaufferie • Une installation nécessitant une chaufferie et de l'espace de stockage.

Tableau des avantages et inconvénients de chacune des formes de bois

10.3. Les installations pour chauffage collectif

Le chauffage au bois est également une solution à usage collectif, comme peut l'être le fioul ou le gaz. Les solutions collectives peuvent s'envisager de deux manières.

- **Chaufferie décentralisée : une chaufferie collective dédiée à un bâtiment** : Il est possible d'installer une chaudière automatique (granulés ou plaquettes) pour desservir des besoins en chaleur et eau chaude sanitaire pour divers types de bâtiments.
- **Une chaufferie centralisée : une chaufferie alimentant un réseau de chaleur** : Ce cas de figure doit être étudié finement d'un point de vue technique, économique et juridique lorsque plusieurs clients sont raccordés au réseau. L'usage du bois déchiqueté est souvent plus pertinent économiquement.

Dans les 2 cas, la chaufferie bois est composée d'une ou de plusieurs chaudières ainsi que d'un stockage ou d'une réserve de combustible bois. Celui-ci est un bois industrialisé de type granulés de bois (ou pellets) ou bien un bois de déchiquetage, de sorte que celui-ci est fluidifié et amené automatiquement du stockage bois vers la chaudière bois. Un accès pour la livraison de bois doit également être prévu.

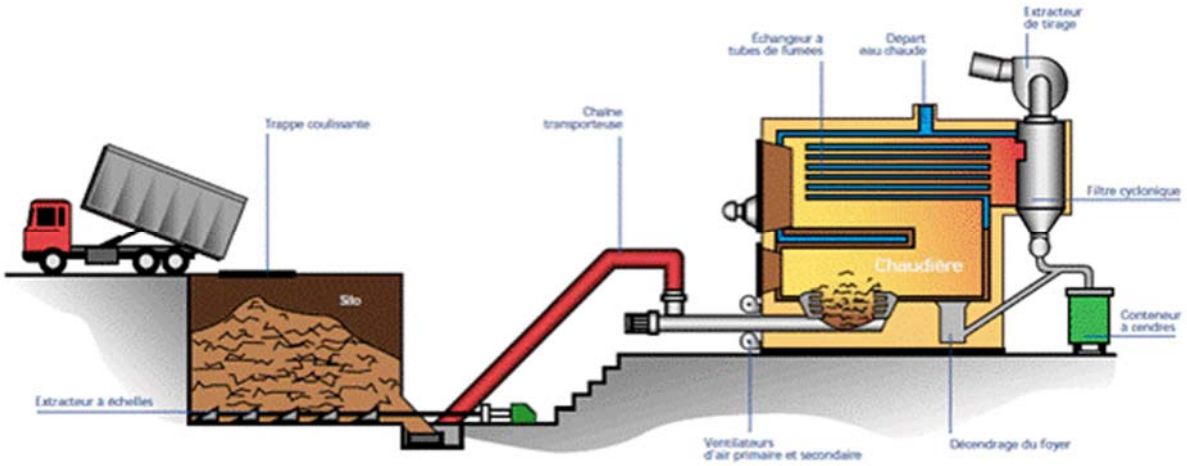


Schéma de principe d'une chaufferie bois - Le camion livre le bois comme le fioul, l'alimentation est automatique vers la chaudière

Le bois déchiqueté consommé par les chaufferies bretonnes peut être d'origine industrielle (palettes, industrie du bois, etc.) ou agricole (valorisation des branchages obtenus à partir de l'entretien du maillage bocager).
Les granulés de bois sont fabriqués avec de la sciure issue de l'industrie du bois. Le granulé de bois est un produit beaucoup plus homogène que la plaquette, donc plus facilement utilisable, mais il nécessite plus d'énergie pour sa fabrication.

Les chaudières automatiques diffèrent également de par la gamme de puissance couverte (de 30 kW à 20 MW). Plus la puissance augmente, plus la granulométrie du bois peut être grossière et plus le taux d'humidité acceptable est élevé. Le bois déchiqueté est principalement utilisé pour les moyennes et grandes chaufferies, tandis que le granulé est plus adapté aux chaudières de petites à moyennes puissances.

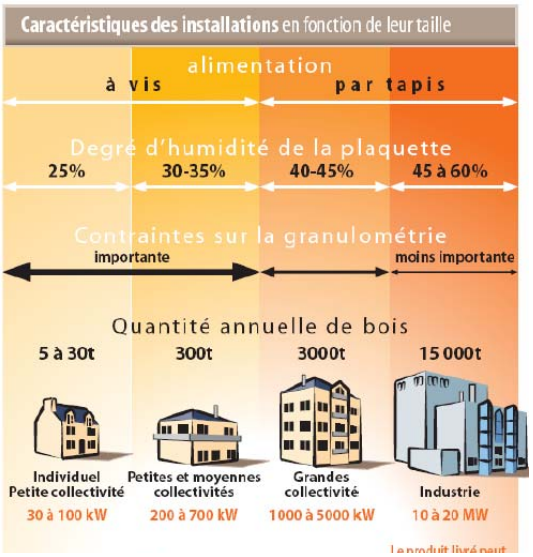


Figure 2 : caractéristiques des installations en fonction de leur taille – Source : AILE

10.4. Le coût d'une installation

a) Coûts (achat, installation, entretien) des appareils individuels

Types	Coût des équipements hors pose	Coût de l'installation	Coût d'entretien
Appareils indépendants			
Poêle à bûches	1500 à 5000 € livré	250 à 1500 €	50 à 150 € par an
Poêle à granulés classique	2000 à 7000 € livré		
Poêle de masse à bûches	4000 à 10000 € livré		
Appareils de chauffage central et équipements complémentaires			
Chaudière à bûches turbo avec ballon d'hydroaccumulation	6000 à 15000 € livré	250 à 1500 €	50 à 200 € par an
Chaudière à bûches à tirage naturel	1500 à 4500 € livré		
Chaudière automatique granulés	5000 à 15000 € livré	2000 à 3000 €	
Chaudière automatique plaquettes	15000 à 22000 € livré		
Silo de stockage	1000 à 4000 € livré		

b) Aides pour l'achat d'appareils individuels

L'installation d'un poêle à bûches ou à granulés de bois, ou d'une chaudière, ouvre un crédit d'impôt de 30%. Cet avantage est soumis à certaines conditions : en plus d'être réalisés dans la résidence principale, les travaux doivent être réalisés par un professionnel certifié reconnu garant de l'environnement (RGE). Cette éligibilité au CITE inclut la possibilité d'obtenir une TVA à un taux réduit intéressant (5,5% au lieu de 10%) sur les travaux d'installation du poêle. Enfin, des aides de l'Agence Nationale de l'Amélioration de l'Habitat sont également disponibles pour l'achat de poêles.

c) Coûts (achat, installation, entretien) de chaufferies bois

Selon l'ITEBE (Institut des Bioénergies), les investissements liés aux chaufferies bois en France (génie civil + VRD, chaufferie, maîtrise d'œuvre) varient de 150 € à plus de 800 € par kW installé (prix indicatifs - la réalisation d'une étude personnalisée, par un bureau spécialisé, est recommandée). Cela représente un surcoût de 2 à 3 fois supérieur à une chaufferie équivalente au fioul ou au gaz. Ce surcoût peut être en partie compensé d'une part, par les aides à l'investissement (ADEME, Région, Département). En termes de maintenance, le contrat de maintenance doit prévoir le passage régulier d'un agent pour le décendrage et l'entretien annuel de la chaufferie. La valorisation des cendres doit également être prévue.

d) Aides pour l'achat de chaufferies bois

Le crédit d'impôt de 30 % est éligible pour une chaufferie bois.

10.5. Les disponibilités de bois à proximité de La Bouëxière

Avant l'installation d'un chauffage individuel bois ou d'une chaufferie collective au bois, la question de l'approvisionnement et du stockage en combustible doit être posée. D'où va provenir le bois utilisé ? Existe-t-il des gisements mobilisables localement ? A quelle distance ? Quel volume de bois et sous quelles formes (bûches, plaquettes, granulés, rebuts,..) faut-il utiliser pour alimenter le poêle, la chaufferie ? Quel(s) mode(s) de transport utilisé(s) pour l'approvisionnement ?

a) Le bois buches

Aujourd'hui, de nombreux distributeurs et fournisseurs existent en Bretagne et peuvent fournir les besoins individuels. Le bois bûche peut-être livré en palette de bois certifié. Ce combustible est encore majoritairement commercialisé « au noir », surtout en zone rurale.

Une démarche de qualité régionale a été mise en place par l'association Abibois avec la création de la marque Bretagne Bois Bûche® : elle identifie les professionnels bretons du bois de chauffage engagés dans une démarche de qualité des produits et des services.

Le site www.bretagneboisbuche.com permet de localiser les fournisseurs de bois bûche engagés dans cette démarche.

A proximité de La Bouëxière, il existe plusieurs fournisseurs de bois bûches, notamment :

- LEPRETRE JEAN CHARLES, à Acigné (10 km de La Bouëxière)
- BOIS BREIZH, actuellement implanté à Chasne-sur-Illet (13 km de La Bouëxière) (déménagement possible à Betton à moyen terme)
- BOIS ENERGIE 35 à Noyal sur Vilaine (13 km de La Bouëxière)
- BOIS DIVERS BRETAGNE, à Guichen (50 km de La Bouëxière)
- JSA BOIS ENERGIE SARL, à La Boussac (50 km de La Bouëxière)

b) Les plaquettes forestières ou industrielles

Il est possible de se faire livrer en bois déchiqueté partout en Bretagne de par l'importance du nombre de plates-formes agricoles, multi-produits ou des entrepreneurs/élagueurs. Une cinquantaine de plateformes de livraison de bois déchiqueté pour l'énergie sont recensées à l'heure actuelle en Bretagne. Les fournisseurs livrent en général par camion à fond mouvant mais d'autres formes de transport sont possibles (camions bennes, camions souffleurs, …). Il est nécessaire de bien connaître le fonctionnement de sa chaufferie pour demander la qualité de bois déchiqueté adéquate. Il existe en effet différentes catégories de granulométrie ou d'humidité qui correspondent plus ou moins au système de convoyage et de combustion depuis le silo de stockage jusqu'à la chaudière automatique. Pour trouver un fournisseur et/ou se renseigner sur la disponibilité de la ressource en bois, plusieurs sites internet sont disponibles :

- le site du Plan Bois Energie Bretagne : http://www.planboisenergiebretagne.fr/
- le site de l'association Aile : www.aile.asso.fr
- http://www.bois-de-chauffage.net/

Plusieurs fournisseurs de bois déchiqueté seraient susceptibles d'approvisionner La Bouëxière, notamment :

- LEPRETRE JEAN CHARLES, à Acigné (10 km de La Bouëxière)
- MIVOIS ENVIRONNEMENT à Betton (22 km de La Bouëxière)
- COLLECTIF BOIS BOCAGE 35 (CBB35) à Rennes (25 km de La Bouëxière)

c) Les granulés de bois ou pellets

Le bois granulé peut être livré en sacs (poêles à granulés) ou en vrac par camion souffleur (chaudières automatiques). Un site internet recense les fournisseurs par proximité géographique : www.bois-de-chauffage.net

Parmi les fournisseurs proches de la commune, on peut citer notamment :

- REN' BÛCHES à Brécé (10 km de La Bouëxière)
- BOIS BREIZH, actuellement implanté à Chasne-sur-Illet (13 km de La Bouëxière) (déménagement possible à Betton à moyen terme)
- BOIS ENERGIE 35 à Noyal sur Vilaine (13 km de La Bouëxière)
- ENERGIE FORESTIERE à Chevaigné (26 km de La Bouëxière)
- BOIS DIVERS BRETAGNE, à Guichen (50 km de La Bouëxière)

Les tarifs (à titre indicatifs) varient en fonction du volume :

- Granulés en sac de 15 kg : Sur palette (environ 65 sacs) : 250 à 350 € livrés
- Granulés en sac de 15 kg : Vendu à l'unité, en libre-service : 3,8 à 5 €
- Granulés en vrac (Vendu à la tonne) : 250 à 350 € livrés
- Granulés en conteneur (500 kg) Selon fournisseurs

d) Conclusion sur les fournisseurs à proximité

La filière d'approvisionnement bois est suffisamment développée dans le secteur pour fournir en bois, sous différentes formes, les futurs habitants du quartier, et ainsi assurer la production de chauffage des bâtiments. Quel que soit le combustible, il sera nécessaire de prévoir un volume de stockage suffisant et accessible pour la livraison.

11. LA METHANISATION (BIOGAZ)

11.1. Le fonctionnement général de la méthanisation

La méthanisation est un procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques en produisant une énergie renouvelable, le biogaz, et un fertilisant, le digestat. En l'absence d'oxygène (digestion anaérobie), des bactéries dégradent partiellement la matière organique (Source : AILE).

Les objectifs sont de :

- Valoriser la matière organique fermentescible du territoire ;
- Produire une énergie renouvelable et locale ;
- Produire un fertilisant, le digestat, substituable aux engrais minéraux ;
- Recycler et restituer au sol la matière organique et les éléments fertilisants ;
- Réduire la production de gaz à effet de serre.

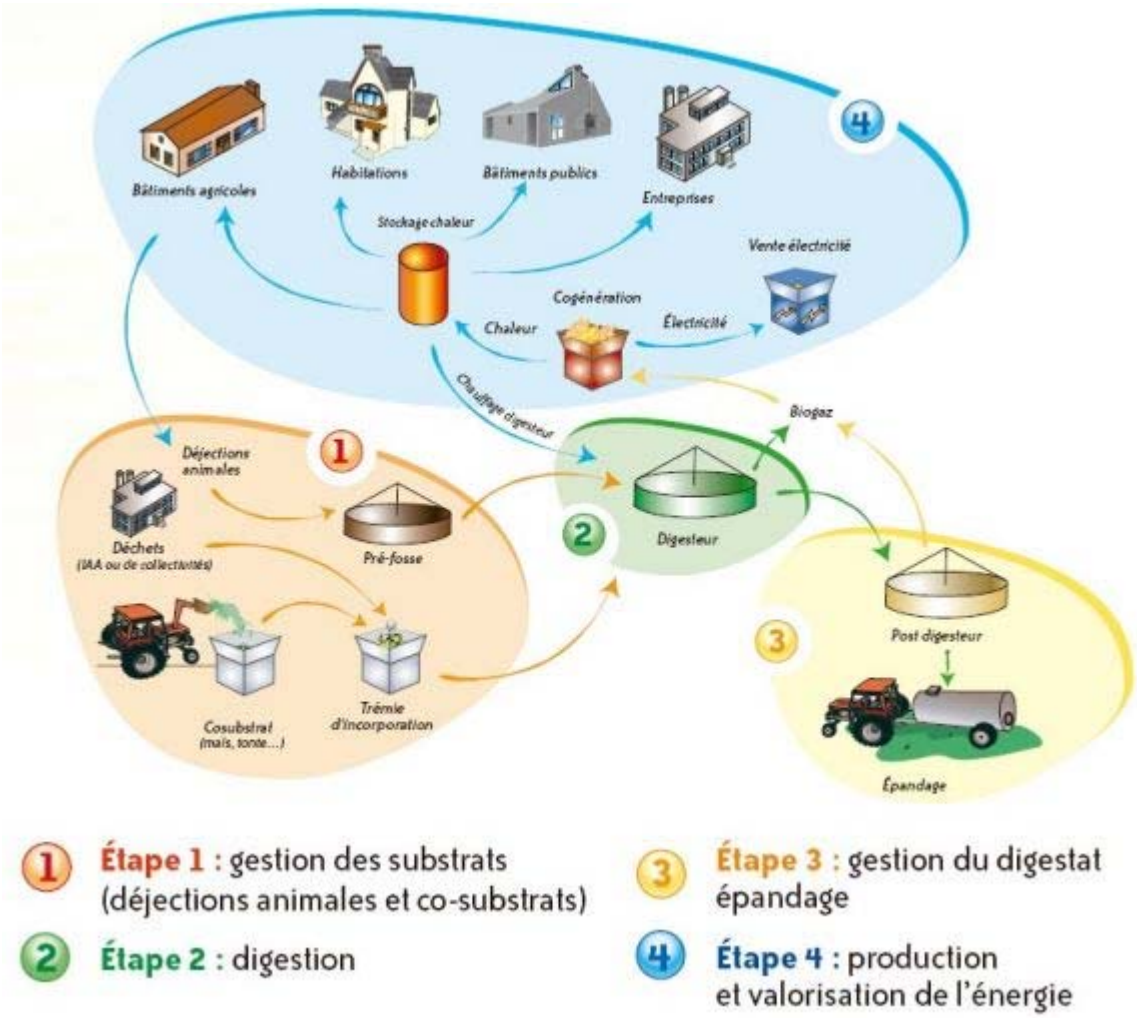
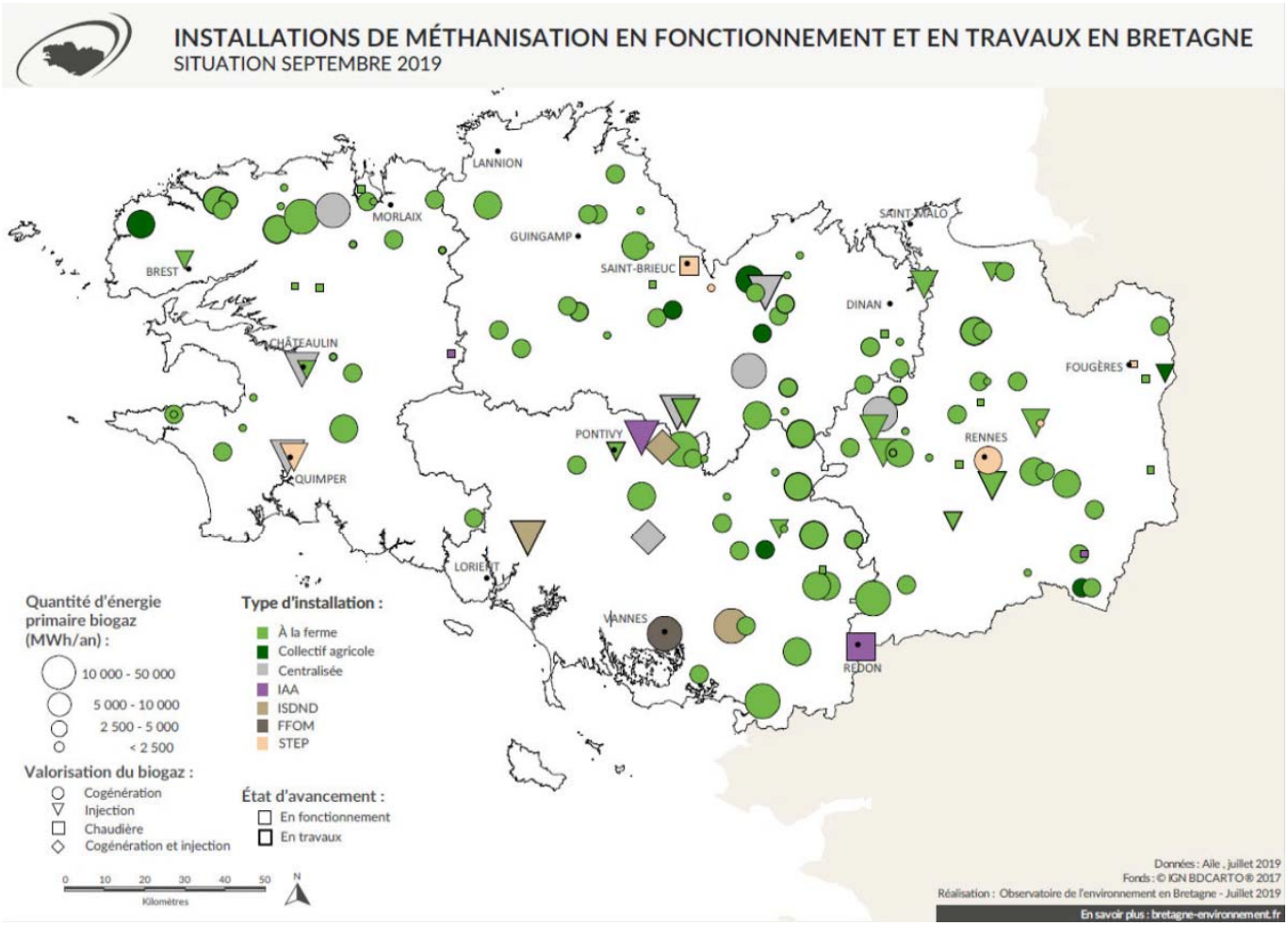


Schéma de principe méthanisation – Source : AILE

11.2. Situation en Bretagne au 1 septembre 2019

Les figures suivantes présentent les installations de valorisation du Biogaz en Bretagne.

Au 1er septembre 2019, il existe quelques unités à proximité de la commune (2 unités à Liffré notamment), mais aucune installation de méthanisation sur La Bouëxière.



Installations de méthanisation en fonctionnement et en travaux en Bretagne au 1ser septembre 2019 – Source : AILE

	A la ferme	Centralisée	Collectif agricole	FFOM	IAA	ISDND	STEP	Total
22	26	1	3	-	-	-	2	32
29	19	3	1	-	1	-	1	25
35	23	1	2	-	2	-	3	31
56	15	1	1	1	1	2	-	21
Total	83	6	7	1	4	2	6	109

Nombre d'unités par département et leur typologie – Source : AILE

12. SYNTHESE DU POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES AU SEIN DU QUARTIER

Au regard des ressources et des contraintes présentes sur le territoire, les conclusions suivantes peuvent être tirées quant aux énergies pertinentes pour l'approvisionnement du futur lotissement.

ENERGIE		Electricité	Chauffage	Eau chaude sanitaire	POTENTIEL pour le lotissement	
Solaire	Solaire passif		X		+++	L'organisation du plan de composition du quartier est importante afin de maximiser le nombre de parcelles orientées Nord-Sud pour favoriser l'optimisation des apports solaires. Les constructions s'implanteront de manière à bénéficier d'un ensoleillement maximal et optimiser les dispositifs de captation solaire, suivant le principe du schéma ci-contre, relatif aux masques solaires L'organisation des pièces au sein des logements, en fonction des besoins en températures, est un enjeu important.
	Solaire thermique		X	X	+++	La commune présente un potentiel intéressant pour envisager la pose de panneaux solaires thermiques, autant dans les logements individuels que les logements collectifs. Le solaire thermique est généralement utilisé pour la production d'eau chaude sanitaire (CESI). En moyenne, il faut compter 4 à 5 m2 pour les maisons individuelles. Dans ce cas, il permet des économies de 40 à 60% des besoins d'eau chaude sanitaire (panneaux solaires inclinés à 45° environ, orientation au sud à plus ou moins 25° maximum). Le chauffe-eau solaire collectif est adapté aux logements collectifs. Il est toujours nécessaire de recourir à un appoint, l'énergie solaire ne pouvant pas couvrir l'intégralité des besoins (en particulier en hiver) : un ballon de stockage solaire est généralement placé en amont d'un équipement d'appoint qui assure le maintien en température de consigne de l'eau chaude. Il est important de rappeler que les systèmes solaires thermiques peuvent également participer à réduire de manière globale les besoins thermiques des bâtiments en produisant également une partie du chauffage. En moyenne, une installation SSC permet de faire des économies d'environ 30% sur le chauffage et de 60 à 65% sur l'eau chaude. L'utilisation du solaire en combinaison chauffage + eau chaude, est généralement privilégiée pour les maisons individuelles avec un plancher chauffant de type PSD (plancher solaire direct). Ce principe peut néanmoins être étudié dans le cas de bâtiments collectifs, mais nécessite des études spécifiques.
	Solaire photovoltaïque	X			+++	L'installation des panneaux solaires photovoltaïques sur les toitures des bâtiments (orientation sud) ou sur les candélabres permettrait une production importante d'électricité (privilégier l'autoconsommation avec vente du surplus).
	Solaire hybride	X	X	X	++	Les capteurs solaires hybrides permettent de générer simultanément de l'électricité et de l'eau chaude et ainsi parvenir à l'indépendance énergétique. S'agissant d'une solution nouvelle en France, le prix d'achat d'un capteur solaire reste élevé mais ce surcoût de départ est amorti par les gains de production énergétique. Il peut être une solution intéressante car il permet d'éviter de multiplier les systèmes utilisés et donc de réduire la surface d'exposition nécessaire.
Eolien	Petit éolien	X			+	Le petit éolien est techniquement possible et envisageable sur la zone. Toutefois, son rendement par rapport au coût n'est pas en sa faveur. Si les futurs habitants souhaitent avoir recours à cette source d'énergie, des études plus spécifiques devront être menées, notamment une étude précise des vents qui sera à réaliser en phase réalisation et après la construction des bâtiments.
	Grand éolien	X			-	Le grand éolien n'est pas envisageable sur la zone. En effet, l'obligation réglementaire d'éloignement de plus de 500 m des zones d'habitation des éoliennes de plus de 50 mètres de haut réduit à néant le potentiel de développement du grand éolien sur le site.
Hydraulique	Marine	X			-	Aucune ressource adéquate n'a été identifiée à proximité du site de la Tannerie.
	Cours d'eau	X			-	

ENERGIE	Electricité	Chauffage	Eau chaude sanitaire	POTENTIEL pour le lotissement	
Aérothermie		X	X	++	Dans le cadre du projet du lotissement, l'utilisation d'une pompe à chaleur, notamment air / eau, peut être envisagée dans des maisons individuelles. Il s'agit d'un système de chauffage écologique et économique qui permet obtenir un bon rendement, à condition que le logement soit bien isolé. Il est important de Bien réfléchir à l'endroit où installer sa pompe à chaleur pour éviter tout problème de voisinage (nuisances sonores).
Géothermie		X	X	+	L'exploitation de la géothermie consiste à récupérer la chaleur du sol avec des sondes géothermiques et la restituer dans l'habitation individuelle. Il est tout à fait probable que cette énergie durable devienne l'un des systèmes de chauffage les plus utilisée dans l'avenir. Il s'agit d'une énergie renouvelable avec divers avantages pour chauffer une habitation individuelle. Toutefois, il faut savoir que l'utilisation de cette énergie propre peut être impossible selon la situation géographique, notamment lorsque les terrains sont de petites tailles.
Récupération des eaux usées			X	+	Les systèmes de récupération de la chaleur sur eaux usées, avec ou sans pompe à chaleur, sont mobilisable à l'échelle d'un bâtiment, en valorisant les eaux d'évacuation des douches des logements. En revanche, la récupération depuis le réseau d'assainissement nécessite un potentiel thermique élevé (quartier de logements collectifs dense par exemple), ce qui n'est pas le cas du site.
Bois		X		+++	Le bois est le moyen le plus économique de se chauffer, aussi bien pour les logements individuels (poêle à bois, à pellets) que collectifs (chaufferie collective). Une espace de stockage et d'approvisionnement doit être définie.

Bilan :

Certaines énergies peuvent à ce stade être logiquement éliminées (grand éolien, Marine, hydraulique).

L'énergie solaire (passif, thermique, photovoltaïque, hybride) le bois et l'aérothermie présentent des potentialités intéressantes pour le projet.

13. LES SYSTEMES INDIVIDUELS DE PRODUCTION D'ENERGIE RENOUVELABLE ADAPTES

Le tableau ci-dessous présente les possibilités de mise en place d'installations utilisant les énergies renouvelables pour les différents types de bâtiments présents sur le lotissement.

	Technologies	Maisons	Appartements	Act. Artisanales
	Solaire passif	Chauffage	Chauffage	Chauffage
	Panneaux solaires photovoltaïques	Electricité	Electricité	Electricité
	Panneaux solaires thermiques	ECS	ECS	ECS
	Panneaux solaires hybrides	Electricité/ESC	Electricité/ESC	
	Petite éolienne	Electricité	Electricité	Electricité
	Pole à bois / pellets	Chauffage		Chauffage
	Chaudière bois		Chauffage/ECS	Chauffage
	PAC Air/eau	Chauffage / ESC	Chauffage / ESC	
	Chauffe-eau thermodynamique	ESC	ESC	
	VMC thermodynamique	Chauffage	Chauffage	
	Récupération sur eaux usées	ESC	ESC	

VI. SIMULATIONS D'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE DU LOTISSEMENT

1. POUR LES MAISONS INDIVIDUELLES

1.1. La solution privilégiée pour le chauffage des maisons : le bois

Pour notre simulation, nous avons pris l'exemple d'une famille de 3-4 personnes (2 adultes et 1 ou 2 enfants) qui construit une maison individuelle de 110 m² de surface de plancher au sein du lotissement et qui souhaite installer un poêle à bois ou à pellets comme mode de chauffage.

a) Simulation d'une installation d'un poêle à bois

- *Caractéristiques de l'installation :*

En estimant qu'il faut une puissance de 1kW pour chauffer 20m², le poêle à bois retenu à un puissance de 6 kW. Le poêle à bois représente un cout de 4000 € (dont 600 € de main d'œuvre).

- *Coût et rentabilité de l'installation*

Le prix du bois de chauffage se calcule au stère, qui est une unité de mesure (1 stère = 1 mètre cube), ou à la corde dans certaines régions (1 corde = 3 stères). Une famille consommera en moyenne 7 stères de bois de chauffage par an. Le prix moyen pour un stère de bûches de 50 cm est d'environ 70 €. Ainsi, le budget moyen annuel en buches de bois est d'environ 490 €. Le poêle devra également être ramoné 2 fois par an, soit un coût total d'environ 160 €/an. Dans notre simulation, on considère que le poêle à bois remplace le chauffage électrique. La consommation de chauffage avant installation d'un poêle à bois est estimée à 1600 € /an avec du chauffage électrique. Après installations du poêle à bois, la consommation diminue et est estimée à 650 € (490 + 160). L'économie annuelle est de 950 €/an, soit 59 % d'économie si l'on privilégie le chauffage au bois plutôt que le chauffage électrique. L'amortissement de l'équipement se fait sur environ 3-4 ans.

b) Simulation d'une installation d'un poêle à pellets

- *Caractéristiques de l'installation :*

Pour un poêle à granulés, on estime que la puissance nécessaire pour chauffer une maison neuve, est de 700 W pour 10 m². Ainsi, pour une maison neuve de 110 m², un poêle à granulés d'une puissance de 8 kW devrait suffire. Le poêle à granulés représente un investissement plus important qu'un poêle à bois et représente un cout de l'ordre de 5000 € (dont 800 € de main d'œuvre). Son rendement avoisine les 80 %.

- *Coût et rentabilité de l'installation*

Les granulés (ou pellets) vendus en sacs de 15 kg, livrés sur palette (environ 65 sacs) coûtent en moyenne 300 € livrés. On peut donc estimer le prix des pellets à environ 300 € la tonne. En moyenne, on estime pour une maison neuve de 110 m², la consommation de pellets à environ 1,5 tonnes /an, soit une centaine de sacs. Une palette et demi devrait donc suffire à chauffer une maison individuelle durant tout un hiver. Ainsi, le budget moyen annuel en pellets est d'environ 450 €. €. Le poêle devra également être ramoné 2 fois par an, soit un coût total d'environ 160 €/an. Dans notre simulation, on considère que le poêle à granulés remplace le chauffage électrique.

La consommation de chauffage avant installation du poêle est estimée à 1600 € /an avec du chauffage électrique. Après installations du poêle à granulés, la consommation diminue et est estimée à 610 € (450 + 160). L'économie annuelle est de 990 €/an, soit 6 % d'économie si l'on privilégie le chauffage aux granulés de bois plutôt que le chauffage électrique. L'amortissement de l'équipement se fait sur environ 4-5 ans.

Cas n°1 **Poêle à bois**	**Cas n°2** **Poêle à granulés**

COUTS :
- Cout de l'installation : 4000 €
  - 3400 € pour le matériel
  - 600 € pour la main d'œuvre
- Aides :
  - TVA réduite
  - Prime Energie 2019 : 500 €
- Coût de l'opération = 3500 €
	COUTS :
	- Cout de l'installation : 5000 €
	  - 4200 € pour le matériel (puissance de 8 kW)
	  - 800 € pour la main d'œuvre
	- Aides :
	  - TVA réduite
	  - Prime Energie 2019 : 500 €
	- Coût de l'opération = 4500 €

RENTABILITE :
- Dépenses courantes :
  - Coût du bois/an = 490 € pour 7 stères de bois
  - Ramonage deux fois par an : 160 € TTC/an.
- Consommation chauffage avant installation d'un poêle à bois : 1600 € (électricité)
- Consommation après installation d'un poêle à bois : 650 € (490 + 160)
- Economie de 950 €/an, soit 59 % d'économie si l'on privilégie le chauffage au bois plutôt que le chauffage électrique
- Amortissement sur environ 3-4 ans.
	RENTABILITE :
	- Dépenses courantes :
	  - Coût des pellets/an = 450 € pour 1,5 tonnes de pellets
	  - Ramonage deux fois par an : 160 € TTC/an.
	- Consommation chauffage avant installation d'un poêle à pellets : 1600 € (électricité)
	- Consommation après installation d'un poêle à bois : 610 € (450 + 160)
	- Economie de 990 €/an, soit 61 % d'économie si l'on privilégie le chauffage au bois plutôt que le chauffage électrique
	- Amortissement sur environ 4-5 ans.

BILAN : Difficile de faire un choix entre un poêle à bois et un poêle à granulés de bois. En termes de confort et de performance délivrée, le poêle à granulés de bois présente des avantages. De plus ce dernier à un meilleur rendement avec une moyenne comprise entre 85 % et 95 % (contre 70 % à 80 % pour un poêle à bûche). C'est une spécificité des granulés de bois qui dégagent plus de calories que les bûches lorsqu'ils sont brûlés dans un poêle. S'il doit exister des points négatifs, nous pouvons citer un prix légèrement supérieur au poêle à bois ainsi qu'un entretien un peu plus régulier. Les granulés sont aussi plus chers que les bûches. Contrairement au poêle à bûches, le poêle à granulés nécessite un minimum d'électricité pour fonctionner car il régule et alimente sa consommation de granulés de manière automatique	

1.2. La solution privilégiée pour la production d'eau chaude sanitaire au sein des maisons : le chauffe-eau solaire (solaire thermique)

Pour notre simulation, nous avons pris l'exemple d'une famille de 3-4 personnes (2 adultes et 1 ou 2 enfants) qui construit une maison individuelle de 110 m² de surface de plancher au sein du lotissement et qui souhaite installer des panneaux solaires thermiques sur la toiture afin de capter l'énergie solaire pour couvrir une partie des besoins en eau chaude sanitaire.

a) Simulation d'une installation d'un chauffe-eau solaire individuel (CESI) = ECS

- *Caractéristiques de l'installation :*

Pour produire 50 à 60 litres d'eau chaude à 45 °C par jour et par personne, un CESI doté de 4m ² de capteurs pourra convenir pour une famille de 3-4 personnes.
L'installation comporte un ballon de stockage de 200 à 300 L équipé d'un dispositif d'appoint qui prend le relais en cas de besoin (hiver, demi-saison) et de 4 m² de panneaux solaires thermiques (2 panneaux de 2 m²) par maison.
En estimant que le rendement énergétique d'un capteur solaire thermique est de 35 % et que la ressource solaire moyenne annuelle sur La Bouëxière est de 1100 kWh/m², il est possible de produire une énergie de 385 kWh/an/m² (1100 x 0,35). Ainsi, la production d'eau chaude sanitaire pour 4 m^2 de panneaux solaires thermiques installés sur une maison est de 1540 kWh/an.

- *Taux de couverture des besoins*

Comme estimée au chapitre III « évaluation des besoins énergétiques du projet », la consommation annuelle prévisionnelle en eau chaude sanitaire d'une maison individuelle est de 2500 kWh pour une maison respectant la RT2012 et de 2000 kWh pour une maison BEPOS. En estimant que sur la commune, 1 kWc=1100 kWh, 4 m² de panneaux solaire thermique sur une maison produit en moyenne près de 1540 kWh/an. Ainsi, l'installation de panneaux solaires thermiques permettrait de couvrir respectivement 61 % (RT 2012) et 77 % (BEPOS) des besoins annuels. Si le chauffe-eau solaire peut couvrir 100% des besoins en eau chaude l'été, pendant l'hiver ou des périodes froides (pas de soleil), les capteurs thermiques vont capter beaucoup moins. Il faut donc un dispositif supplémentaire permettant de subvenir à tous les besoins en eau chaude même lors de mauvais temps. Un chauffe-eau d'appoint est très adapté pour combler ce manque, il est lui aussi directement connecté au ballon d'eau chaude.

- *Coût et rentabilité de l'installation*

L'installation permet une production de 1540 kWh/an, soit 61 % de la consommation annuelle (2500 kWh/an). Avec un coût de kWh électrique estimé à 0,16 €/kWh, cela conduit à une économie financière annuelle de 247 euros/an, soit quasiment 20 % de la facture énergétique annuelle pour une maison. La rentabilité et le temps de retour est donc de : 5000 / 247 = 20 ans.

b) Simulation d'une installation d'un système solaire combiné (SSC) = ECS+ chauffage

- *Caractéristiques de l'installation :*

L'installation comporte un ballon de stockage de 300 L équipé d'un dispositif d'appoint qui prend le relais en cas de besoin (hiver, demi-saison) et de 11 m² de panneaux solaires thermiques. Ainsi, la production d'eau chaude sanitaire pour 11 m^2 de panneaux solaires thermiques installés sur une maison est de 4235 kWh/an.

➢ *Taux de couverture des besoins*

Comme estimée au chapitre III « évaluation des besoins énergétiques du projet », la consommation annuelle prévisionnelle en (eau chaude sanitaire + chauffage) d'une maison individuelle est de 5700 kWh pour une maison respectant la RT2012 et de 3800 kWh pour une maison BEPOS. En estimant que sur la commune, 1 kWc=1100 kWh, 11 m² de panneaux solaire thermique sur une maison produit en moyenne près de 4235 kWh/an. Ainsi, l'installation de panneaux solaires thermiques permettrait de couvrir respectivement 74 % (RT 2012) et 111 % (BEPOS) des besoins thermiques annuels.
Toutefois, cette simulation reste théorique. N'oublions pas que les besoins en chauffage solaire en hiver ne sont pas en phase avec l'ensoleillement, et que l'énergie solaire disponible en été, dépasse les besoins d'eau chaude sanitaire. Il faut donc un dispositif supplémentaire permettant de subvenir à tous les besoins en eau chaude et en chauffage durant la période hivernale. Un chauffe-eau d'appoint est très adapté pour combler ce manque, il est lui aussi directement connecté au ballon d'eau chaude. Un autre équipement de production de chauffage est également nécessaire. Les systèmes au bois (type poêle à granulés de bois) semblent être les meilleurs compromis pour répondre à des besoins ponctuels.

➢ *Coût et rentabilité de l'installation*

La production avoisine les 4235 kWh/an, soit 74 % de la consommation annuelle (5700 kWh/an). Avec un coût de kWh électrique estimé à 0,16 €/kWh, cela conduit à une économie financière annuelle de 680 euros/an, soit quasiment la moitié de la facture énergétique annuelle pour une maison. La rentabilité et le temps de retour est donc de : 12 000 / 680 = 17 ans.

Cas n°1 – Chauffe-eau solaire individuel (CESI)	**Cas n°2 – systèmes solaires combinés (SSC)**

COUTS :
- Cout de l'installation : 6 000 € tout compris
- Aides :
  - Prime forfaitaire pour les ménages modestes ou crédit d'impôt forfaitaire pour les autres ménages.
  - TVA réduite
  - Prime Energie 2019
- Coût de l'opération = 5000 € environ
	COUTS :
	- Cout de l'installation : 14 000 € tout compris
	- Aides :
	  - Prime forfaitaire pour les ménages modestes ou crédit d'impôt forfaitaire pour les autres ménages
	  - TVA réduite
	  - Prime Energie 2019
	- Coût de l'opération = 12 000 € environ

RENTABILITE : - Production de 1540 kWh/an, soit 61 % de la consommation annuelle (2500 kWh/an) - Avec un coût de kWh électrique estimé à 0,16 €/kWh, cela conduit à une économie financière annuelle de 247 euros/an, soit quasiment 20 % de la facture énergétique annuelle pour une maison. - La rentabilité et le temps de retour est donc de : 5000 / 247 = 20 ans.	**RENTABILITE :** - Production de 4235 kWh/an, soit 74 % de la consommation annuelle (5700 kWh/an) - Avec un coût de kWh électrique estimé à 0,16 €/kWh, cela conduit à une économie financière annuelle de 680 euros/an, soit quasiment la moitié de la facture énergétique annuelle pour une maison. - La rentabilité et le temps de retour est donc de : 12 000 / 680 = 17 ans.

Voir ANNEXES – Fiche 3 – Le solaire thermique

1.3. La solution privilégiée pour la production d'électricité au sein des maisons : le photovoltaïque

L'implantation de grandes éoliennes sur le site n'est pas envisageable et la faible rentabilité des éoliennes domestiques en fait une solution peu intéressante aujourd'hui pour produire son électricité. La seule solution rentable pour produire son électricité reste le solaire photovoltaïque. Nous avons donc étudié ce scenario d'installation de panneaux photovoltaïques sur maisons de la ZAC.

L'installation de panneaux solaires photovoltaïques sur les toitures des maisons individuelles pourrait permettre une production importante d'électricité. Pour notre simulation, nous avons pris l'exemple d'une famille de 3-4 personnes (2 adultes et 1 ou 2 enfants) qui construit une maison individuelle de 110 m² de surface de plancher au sein de la ZAC et qui souhaite installer des panneaux solaires photovoltaïques sur la toiture en vue de produire de l'électricité.

a) Caractéristiques de l'installation :

L'installation photovoltaïque présente les caractéristiques suivantes :

- Nombre de panneaux : 10 panneaux monocristallins de 300 Wc
- Puissance totale : 3 kWc (ou 3 000 Wc)
- Surface de panneaux : 17 m² sur toiture exposée côté sud (1,7m²/panneau)
- Production annuelle estimée : En estimant que sur la commune, 1 kWc=1000 kWh, 17 m² de panneaux sur une maison produira près de 3000 kWh/an.

b) Le taux de couverture des besoins électriques

Comme estimée au chapitre III « évaluation des besoins énergétiques du projet », la consommation annuelle prévisionnelle en électricité d'une maison individuelle est de 3900 kWh pour une maison respectant la RT2012 et de 3200 kWh pour une maison BEPOS. En estimant que sur la commune, 1 kWc=1000 kWh, 17 m² de panneaux sur une maison produit en moyenne près de 3000 kWh/an. Ainsi, l'installation de panneaux photovoltaïques d'une puissance totale de 3 kWc permettrait de couvrir respectivement 76 % (RT 2012) et 93 % (BEPOS) des besoins.

c) Coût et rentabilité de l'installation

Pour rappel, quand on produit de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques, il existe plusieurs façons de valoriser cette activité :

- Vendre la totalité de l'énergie produite : on reçoit alors un revenu annuel en fonction du nombre de kilowattheures (kWh) produits,
- Autoconsommer la totalité de l'énergie produite : il s'agit de consommer la totalité de sa production en instantané, au moment où elle est produite
- Autoconsommer une partie de la production et vendre "le surplus", la partie non consommée instantanément : on obtient alors une réduction de sa facture en fonction du nombre de kWh consommés et un revenu annuel correspondant au nombre de kWh vendus.

Pour choisir quelle valorisation privilégier, nous avons effectué 2 simulations :

- Cas n°1 – Vente totale de l'électricité produite
- Cas n°2 – Autoconsommation avec vente du surplus

L'autoconsommation totale n'a pas été étudiée du fait de la difficulté de la mettre en application et du cout que cela génère (notamment l'achat de batteries).

Cas n°1 **Vente totale de l'électricité produite**	**Cas n°2** **Autoconsommation avec vente du surplus**

COUTS :
- Cout de l'installation : 8 000 € tout compris
- Dépenses courantes :
  - 840 € à ENEDIS (42 € /an) sur 20 ans
  - Non imposable (pour les 3 kWc)
- Aides de l'état : 0 €
- Cout final sur 20 ans : 8 840 €
	COUTS :
	- Cout de l'installation : 8 000 € tout compris
	- Dépenses courantes :
	  - 840 € à ENEDIS (42 € /an) sur 20 ans
	  - Non imposable (pour les 3 kWc)
	- Aides de l'état : 1 740 € sur 5 ans, soit 348 € par an pendant 5 ans
	- Cout final sur 20 ans : 7 100 €

RENTABILITE : - Production annuelle estimée : 3 000 kWh (1 kWc = 1 000 kWh) - Prix de vente : 0,1857 € / kWh (Tarif au 31 décembre 2019 pour 3 kWc) - Vente totale : 557 € /an sur 20 ans, soit 11 140 € au total - Bénéfice de 2 300 € - Retour sur investissement : 16 ans en moyenne	**RENTABILITE :** - Production annuelle estimée : 3 000 kWh (1 kWc = 1 000 kWh) - Vente du surplus : tarif de 0,10 € /kWh - Réduction de la facture de 15 à 20 % en moyenne
BILAN : Avec la baisse du prix du rachat, entre 15 et 18 ct€ (fin 2019), et l'augmentation du prix de l'électricité, la rentabilité d'installation de panneaux solaires photovoltaïques pour la vente totale est de plus en plus faible et se situe autour de 15 à 20 ans. Il s'agit d'un placement financier devenu de moins en moins intéressant. C'est pourquoi, aujourd'hui, très peu de projets photovoltaïques optent pour la vente totale.	**BILAN :** Avec l'augmentation du coût de l'électricité, l'autoconsommation avec vente en surplus devient une solution de plus en plus rentable contrairement à la vente totale. C'est la SOLUTION A PRIVILEGIER aujourd'hui ! ATTENTION, l'objectif étant de tendre vers un "effacement" de sa consommation sur le réseau, cela oblige par exemple à "optimiser" sa consommation d'électricité pour la faire correspondre à sa production, ce qui impose de changer ses habitudes de consommation : consommation de l'énergie en journée, plutôt que la nuit !

Voir ANNEXES – Fiche 2 – Le solaire photovoltaïque

2. POUR LES COLLECTIFS

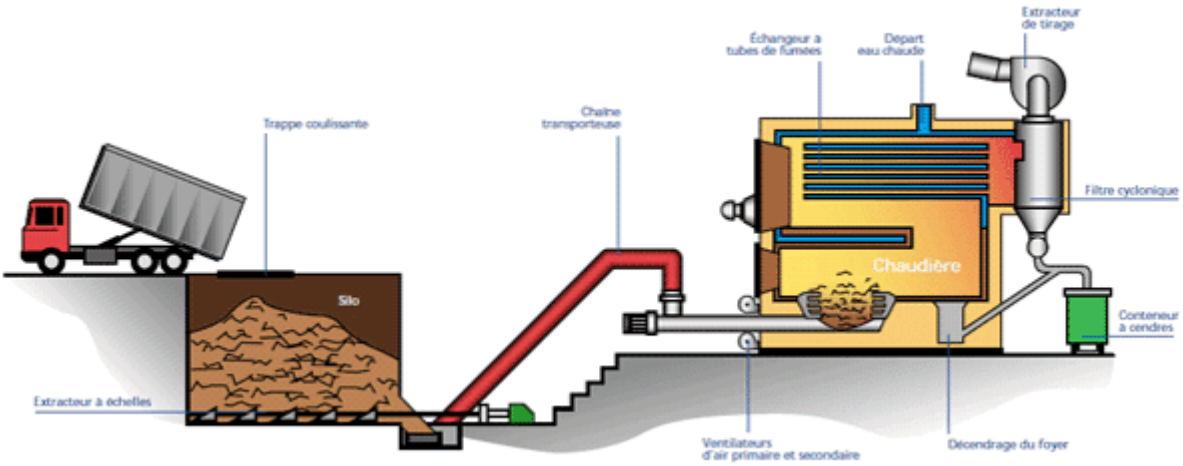
2.1. La solution privilégiée pour le chauffage des collectifs : la chaufferie collective aux granulés de bois

Pour le chauffage des collectifs, nous privilégions l'utilisation du bois et notamment l'installation d'une chaufferie collective

Cette solution doit être envisagée dès la conception des bâtiments afin que ceux-ci intègrent un emplacement pour le silo de stockage du combustible et l'accès des camions de livraison.

Pour un immeuble de 13 appartements et une surface de plancher totale d'environ 7 m², une chaudière à granulés d'une puissance de 38 kW devrait être suffisante avec un rendement de 90 %.

A raison d'un silo d'une capacité de sept tonnes aménagé dans une pièce de réserve et d'une consommation annuelle de quatorze tonnes, la copropriété dispose ainsi d'une autonomie de stockage de six mois.



2.2. La solution privilégiée pour la production d'eau chaude sanitaire au sein des collectifs : le chauffe-eau solaire (solaire thermique)

Afin de tirer le meilleur parti possible du toit de l'immeuble, il est possible d'installer des panneaux solaires sur les toitures des collectifs. L'énergie solaire thermique peut être utilisée dans une copropriété pour produire de l'eau chaude sanitaire (ECS). On estime qu'il est possible de couvrir 40 à 60% des besoins en ECS pour un immeuble avec l'énergie solaire. En revanche, le solaire thermique ne peut pas participer significativement à la production de chauffage dans l'habitat collectif étant données les surfaces disponibles insuffisantes pour installer les capteurs solaires sur les immeubles et les besoins d'énergie annuels particulièrement élevés.

a) Caractéristiques de l'installation

On estime que sur un immeuble, la surface de capteurs installée doit être égale à environ 1 à 2 m² de capteurs par logement, selon la surface de toiture disponible et le nombre d'occupants par logement.
Dans le projet de la Tannerie, on considère une moyenne de 13 appartements par collectif. Une surface de 26 m² de panneaux solaires thermiques par immeuble serait suffisant.
En estimant que le rendement énergétique d'un capteur solaire thermique est de 35 % et que la ressource solaire moyenne annuelle sur La Bouëxière est de 1100 kWh/m², il est possible de produire une énergie de 385 kWh/an/m² (1100 x 0,35). Ainsi, la production d'eau chaude sanitaire pour 26 m2 de panneaux solaires thermiques installés est de 10 000 kWh/an (ou 10 MWh/an).
Le projet de lotissement compte 76 logements collectifs répartis sur 6 bâtiments. Ainsi, pour les collectifs, au total, près de 156 m² de toitures pourraient être aménagés de panneaux photovoltaïques. La production totale serait de 60 MWh/an.

b) Le taux de couverture des besoins en eau chaude sanitaire

Comme estimée au chapitre III « évaluation des besoins énergétiques du projet », la consommation annuelle prévisionnelle en eau chaude sanitaire d'un collectif (13 appartements) est de 17 MWh (1375 kWh x13) pour un collectif respectant la RT2012 et de 14 MWh (1100 kWh x 13) pour un collectif RE2020. Ainsi, l'installation de 26 m² panneaux solaires thermiques produirait annuellement 10 MWh d'énergie et permettrait de couvrir respectivement 58 % (RT 2012) et 71 % (BEPOS) des besoins.
Toutefois, si le chauffe-eau solaire peut couvrir 100% des besoins en eau chaude l'été, pendant l'hiver ou des périodes froides (pas de soleil), les capteurs thermiques vont capter beaucoup moins. Il faut donc un dispositif supplémentaire permettant de subvenir à tous les besoins en eau chaude même lors de mauvais temps. Un stockage et un appoint individualisés est adapté au petit collectif. On parle alors d'installation solaire collective individualisée. Chaque logement possède un ballon de stockage et gère son appoint comme il veut (résistance électrique, chaudière gaz individuelle...).

c) Coût et rentabilité de l'installation

L'installation de panneaux solaires thermiques permet une production de 10000 kWh/an/immeuble, soit 58 % de la consommation annuelle (17 000 kWh/an). Avec un coût de kWh électrique estimé à 0,16 €/kWh, cela conduit à une économie financière annuelle de 1600 euros/an pour l'immeuble, soit environ 123 €/appartement.

La rentabilité et le temps de retour est donc de : 23400 / 1800 = 14 ans.

Chauffe-eau solaire collectif individualisé (CESCI)

COUTS :

- Cout de l'installation : 23 400 € tout compris (900 €/m²) / immeuble (13 logements), soit 1800 €/appartement
- Aides :
  - Subvention de la région
  - Subvention de l'ADEME
  - Aides de l'ANAH
  - TVA réduite
- Coût de l'opération = 19 000 € environ

RENTABILITE :

- Production de 10 MWh/an, soit 58 % de la consommation annuelle (17 MWh/an)
- Avec un coût de kWh électrique estimé à 0,16 €/kWh, cela conduit à une économie financière annuelle de 1600 euros/an/immeuble, soit environ 123 €/appartement.
- La rentabilité et le temps de retour est donc de : 23400 / 1600 = 14 ans.

2.3. La solution privilégiée pour la production d'électricité au sein des collectifs : le photovoltaïque

L'installation de panneaux solaires photovoltaïques sur les toitures des collectifs est également une possibilité. Ces panneaux pourraient permettre une production importante d'électricité et faire baisser les charges. Dans une copropriété, l'électricité se voit ensuite distribuée entre les différents résidents. Lorsqu'il s'agit d'un toit terrasse, ce qui n'est pas rare en copropriété, les panneaux solaires photovoltaïques sont orientés vers le sud à l'aide de châssis qui permettent une inclinaison de 30° environ.

a) Caractéristiques de l'installation

Pour notre simulation, nous avons pris l'exemple d'un collectif comportant 13 appartements et dont la surface de toiture fait 300 m² en moyenne. En prenant en compte les autres utilisations de la toiture (locaux techniques), les ombres générées par les châssis ainsi que les contraintes d'intégration architecturales (marge de recul depuis les façades), on estime que près d'1/3 de la surface de toiture d'un collectif pourrait être recouverte de panneaux.

- Surface de toiture disponible/collectif : 100 m²
- Nombre de panneaux : 58 panneaux monocristallins de 300 Wc (1,7m²/panneau)
- Puissance totale : 17 kWc
- Production annuelle estimée : En estimant que sur la commune, 1 kWc=1000 kWh, 100 m² de panneaux sur la toiture d'un collectif produira près de 17 MWh/an.

Le projet de lotissement compte 76 logements collectifs répartis sur 6 bâtiments. Ainsi, pour les collectifs, au total, près de 600 m² de toitures pourraient être aménagés de panneaux photovoltaïques. La production totale serait de 102 MWh/an.

b) Le taux de couverture des besoins électriques pour un collectif

Comme estimée au chapitre III « évaluation des besoins énergétiques du projet », la consommation annuelle prévisionnelle en électricité d'un collectif (13 appartements) est de 27 MWh pour un collectif respectant la RT2012 et de 22 MWh pour un collectif RE2020. Ainsi, l'installation de panneaux photovoltaïques d'une puissance totale de 17 kWc produirait annuellement 17 MWh d'énergie et permettrait de couvrir respectivement 63 % (RT 2012) et 77 % (BEPOS) des besoins.

c) Coût et rentabilité de l'installation

Pour rappel, quand on produit de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques, il existe plusieurs façons de valoriser cette production. Dans le cas d'un collectif, le syndicat de copropriété peut décider d'investir lui-même dans l'installation photovoltaïque et de vendre ou d'autoconsommer tout ou partie de l'électricité produite. La toiture peut également être louée à un tiers investisseur avec qui le syndicat de copropriété devra définir les conditions de mise à disposition de la toiture.

<u>La copropriété investit dans une installation :</u>

Plusieurs choix s'offrent à vous pour la consommation ou la vente de l'énergie :

- Vente de la totalité ou du surplus de l'électricité : Les revenus de la production peuvent être utilisés pour compenser les charges communes et/ou être redistribués aux propriétaires.
- Autonomisation partielle ou totale : Si l'installation de production est raccordée sur l'installation électrique alimentant les communs (éclairage des couloirs, ascenseur, ventilation des parkings souterrains, etc.), elle génèrera des économies sur la facture d'électricité et donc permettra une baisse des charges. Le surplus pourra être vendu.

- Autoconsommation collective totale : Un nouveau modèle est actuellement en train de se déployer pour permettre de répartir des index de production à des consommateurs. Ce modèle permettrait à chaque propriétaire ou locataire qui le souhaite de bénéficier d'une production locale et agir directement dans sa facture d'électricité.

La copropriété loue sa toiture pour y mettre une installation

En échange d'un loyer versé, entre 1€ et 3€ par m^2 par an, par un investisseur dans le cadre d'un bail, la copropriété met à disposition la toiture de l'immeuble pour l'installation de panneaux photovoltaïques. L'investisseur s'occupe de l'installation, l'exploitation, l'entretien et l'étanchéité du toit. A l'issu du bail, la centrale est cédée à la copropriété ou démontée. Pour la rédaction et la signature du bail, il est conseillé de faire appel à un juriste ou un notaire.

Pour choisir quelle valorisation privilégier, nous avons effectué 2 simulations :

- Cas n°1 – Vente totale de l'électricité produite
- Cas n°2 – Autoconsommation avec vente du surplus

Cas n°1 **Vente totale de l'électricité produite**	**Cas n°2** **Autoconsommation avec vente du surplus**

COUTS :
- Cout de l'installation par immeuble (panneaux, onduleur, régulateur) : 20 000 € tout compris
- Raccordement au réseau : 1500 €
- Dépenses courantes :
  - 840 € à ENEDIS (42 € /an) sur 20 ans
  - Imposable
  - Assurance
- Aides de l'état : pas de crédit d'impôt
- Cout final sur 20 ans : 22340 €
	COUTS :
	- Cout de l'installation par immeuble (panneaux, onduleur, régulateur) : 20 000 € tout compris
	- Raccordement au réseau : 600 €
	- Dépenses courantes :
	  - 840 € à ENEDIS (42 € /an) sur 20 ans
	  - Imposable
	  - Assurance
	- Aides de l'état : 950 € sur 5 ans, soit 190 € par an pendant 5 ans
	- Cout final sur 20 ans : 20 490 €

RENTABILITE : - Production annuelle estimée : 17 MWh (1 kWc = 1 000 kWh) - Prix de vente : 0,1207 € / kWh (Tarif au 30 septembre 2019 pour 17 kWc en vente totale) - Vente totale : 2052 € /an sur 20 ans, soit environ 41 000 € au total - Retour sur investissement : 11 ans minimum	**RENTABILITE :** - Production annuelle estimée : 17 MWh (1 kWc = 1 000 kWh) - Prix de vente : 0,06 € / kWh (Tarif au 30 septembre 2019 pour 17 kWc en autoconsommation) - Réduction de la facture de 15 à 20 % en moyenne

3. POUR LES BATIMENTS D'ACTIVITES

3.1. La solution privilégiée pour la production de chaleur au sein des bâtiments d'activités : le solaire thermique

Afin de tirer le meilleur parti possible du toit de l'immeuble, il est possible d'installer des panneaux solaires sur les toitures des collectifs. L'énergie solaire thermique peut être utilisée pour produire de la chaleur (chauffage des locaux notamment).

a) Caractéristiques de l'installation

Le programme comprend 10 lots à vocation artisanale. Pour cette estimation, on considère une moyenne de SDP de 600 m² par lot et que tous les bâtiments ont une toiture Bac Acier inclinée à environ 2 à 3 %. On propose d'installer environ 70 m² de panneaux solaires thermiques sur chacun des bâtiments à vocation artisanale.

En estimant que le rendement énergétique d'un capteur solaire thermique est de 35 % et que la ressource solaire moyenne annuelle sur La Bouëxière est de 1100 kWh/m², il est possible de produire une énergie de 385 kWh/an/m² (1100 x 0,35). Ainsi, la production d'eau chaude sanitaire pour 70 m2 de panneaux solaires thermiques installés est de 27 000 kWh/an (ou 27 MWh/an). Sur l'ensemble du lotissement (10 bâtiments), la production serait de 270 MWh/an.

b) Le taux de couverture des besoins thermiques

On estime les besoins en chaleur d'un bâtiment artisanal (600 m² de SDP) à environ 54 000 kWh/an (90 kWh/m²), soit 54 MWh. L'installation de 70 m² de surface de panneaux solaire thermiques sur un bâtiment permettrait de couvrir 50 % des besoins en chaleur. Le reste des besoins en chaleur serait fourni par une chaudière gaz.

c) Coût et rentabilité de l'installation

L'installation de panneaux solaires thermiques permet une production de 27 000 kWh/an/bâtiment d'activités soit 50 % de la consommation annuelle (54 000 kWh/an). Avec un coût de kWh électrique estimé à 0,16 €/kWh, cela conduit à une économie financière annuelle de 4320 euros/an pour un bâtiment artisanal.

La rentabilité et le temps de retour avoisinent les 14 ans (60 000 € / 4320 €).

3.2. La solution privilégiée pour la production d'électricité au sein des bâtiments d'activités : le photovoltaïque

Il est envisageable d'implanter des panneaux photovoltaïques sur les toitures des bâtiments de la zone d'activités.

a) Caractéristiques de l'installation

Le programme du lotissement comprend 10 lots à vocation artisanale. Pour cette estimation, on considère une moyenne de SDP de 600 m² par lot et que tous les bâtiments ont une toiture Bac Acier inclinée à environ 2 à 3 % et qu'en moyenne la moitié de la toiture peut recevoir des panneaux solaires photovoltaïques.

Ainsi, sur un bâtiment d'activité, on envisage d'installer 300 m² de panneaux photovoltaïques, soit environ 170 panneaux (1,7 m²/panneau) d'une puissance de 300 Wc. La puissance totale par bâtiment serait alors de serait donc de 51 000 Wc (ou 51 kWc). En estimant que sur la commune, 1 KWc=1000 kWh, les 300 m² de panneaux photovoltaïques produiront près de 51 000 kWh, soit 51 MWh/an. En moyenne, chaque bâtiment produirait près de 51 MWh/an pour 300 m² de panneaux photovoltaïques. Sur l'ensemble de la ZAC (10 bâtiments), la production serait de 510 MWh/an.

b) Le taux de couverture des besoins électriques pour la ZA

On estime à 126 MWh le besoin en électricité d'un bâtiment d'activité. Ainsi, l'installation de panneaux photovoltaïques d'une puissance de 300 Wc sur la moitié de la surface de toiture d'un bâtiment artisanal permettrait de produire l'équivalent de 40 % de l'électricité consommée. Il faudrait donc augmenter la surface de panneaux pour augmenter le taux de couverture des besoins électriques.

c) Coût et rentabilité de l'installation

Pour rappel, quand on produit de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques, il existe plusieurs façons de valoriser cette activité :

- Vendre la totalité de l'énergie produite : on reçoit alors un revenu annuel en fonction du nombre de kilowattheures (kWh) produits,
- Autoconsommer la totalité de l'énergie produite : il s'agit de consommer la totalité de sa production en instantané, au moment où elle est produite
- Autoconsommer une partie de la production et vendre "le surplus", la partie non consommée instantanément : on obtient alors une réduction de sa facture en fonction du nombre de kWh consommés et un revenu annuel correspondant au nombre de kWh vendus.

Pour choisir quelle valorisation privilégier, nous avons effectué 2 simulations :

- Cas n°1 – Vente totale de l'électricité produite
- Cas n°2 – Autoconsommation avec vente du surplus

L'autoconsommation totale n'a pas été étudiée du fait de la difficulté de la mettre en application et du cout que cela génère (notamment l'achat de batteries).

Cas n°1 **Vente totale de l'électricité produite**	**Cas n°2** **Autoconsommation avec vente du surplus**

COUTS :
- Cout de l'installation par bâtiment (panneaux, onduleur, régulateur) : 50 000 € tout compris pour 300 m² de panneaux
- Raccordement au réseau : 1500 €
- Dépenses courantes :
  - 840 € à ENEDIS (42 € /an) sur 20 ans
  - Imposable
  - Assurance
- Aides de l'état : pas de crédit d'impôt
- Cout final sur 20 ans : 52 340 €
	COUTS :
	- Cout de l'installation par bâtiment (panneaux, onduleur, régulateur) : 50 000 € tout compris pour 300 m² de panneaux
	- Raccordement au réseau : 600 €
	- Dépenses courantes :
	  - 840 € à ENEDIS (42 € /an) sur 20 ans
	  - Imposable
	  - Assurance
	- Aides de l'état :450 € sur 5 ans, soit 90 € par an pendant 5 ans
	- Cout final sur 20 ans : 50 990 €

RENTABILITE : - Production annuelle estimée : 51 MWh (1 kWc = 1 000 kWh) - Prix de vente : 0,1076 € / kWh (Tarif au 31 décembre 2019 pour 51 kWc) - Vente totale : 5500 € /an sur 20 ans, soit 11 200 € au total - Bénéfice de 110 000 € - Retour sur investissement : 10 ans en moyenne	**RENTABILITE :** - Production annuelle estimée : 51 MWh (1 kWc = 1 000 kWh) - Prix de vente : 0,06 € / kWh (Tarif au 31 décembre 2019 pour 51 kWc en autoconsommation) - Réduction de la facture de 20 à 30 % en moyenne

VII. PRECONISATIONS EN MATIERE D'ECLAIRAGE PUBLIC

Aujourd'hui de nombreux lotissements ou quartiers résidentiels sont équipés de systèmes d'éclairage obsolètes et très énergivores. Les communes disposent de nombreuses solutions pour diminuer leur facture d'éclairage. La première de ces solutions, la plus simple, consiste à … mieux éclairer ! De plus le choix de l'éclairage défini aussi l'ambiance, la personnalité et l'environnement du lotissement.

On commence généralement par supprimer le « sur-éclairage », supérieur à 30 lux (Un éclairement de 5 lux permet de lire aisément un document, avec 10 lux, on peut circuler sans l'éclairage d'un véhicule).

Les points lumineux très énergivores, tels les lampadaires-boules qui émettent une lumière omnidirectionnelle et qui sont de forts consommateurs d'énergie, seront **remplacés par du matériel plus économe (éclairage LED, limitateur de puissance …).**

À éclairage identique, rabaisser les points lumineux et mieux **rabattre la lumière vers le sol** contribuent également à diminuer l'énergie nécessaire pour un éclairage identique.

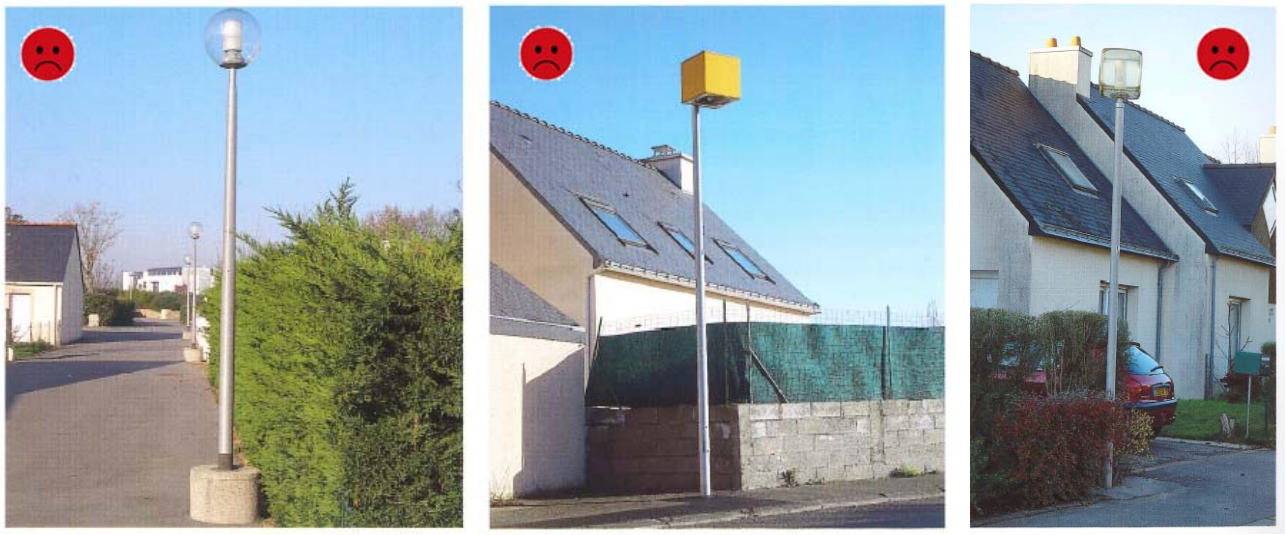
Les programmateurs crépusculaires permettent de déclencher l'éclairage au bon moment : fini les réverbères qui s'allument une heure avant la nuit ! Certains programmateurs dit « intelligents » vont même jusqu'à adapter l'éclairage en fonction de la luminosité réelle, en fonction de la lune notamment.

Des lampadaires à détecteurs peuvent aussi être installés sur des cheminements (parcs, allées …), **les lumières ne s'allumeront qu'au passage des piétons**.

Les appareils équipés de sources d'énergie renouvelable complètent l'offre. Les fabricants proposent ainsi des lampadaires à LED, équipés de panneaux solaires ou d'une petite éolienne, ou des deux.

Enfin, l'extinction complète est parfois retenue : nombre de communes ont ainsi opté pour couper l'éclairage, généralement de minuit à 6 h, voire à partir de 22 h

Exemples d'éclairage à privilégier



Eclairages d'éclairages à proscrire

L'ADEME dans le tableau ci-dessous a calculé les économies que peut faire une commune en appliquant régulation, variation de puissance et coupure. Des appareils de régulation et de variation de puissance, associés à des horloges astronomiques permettent d'économiser jusqu'à 30% de la facture énergétique.

	Allumage permanent		**Calculateur astronomique**		**Calculateur + variation de puissance**	
	Durée	Consommation	Durée	Consommation	Durée	Consommation
Eclairage public (75 %)	4 300 h	48 375 KW/h	4 071 h	45 799 KW/h	4 071 h	39 360 KW/h
Bâtiments public (5 %)		3 225 KW/h	1 522 h	1 141 KW/h	1 522 h	1 141 KW/h
Espaces piétonniers (15 %)		9 675 KW/h	4 071 h	9 160 KW/h	4 071 h	3 746 KW/h
Parcs et jardins (5 %)		3 225 KW/h	314 h	235 KW/h	314 h	235 KW/h
TOTAL		**64 500 KW/h**		**56 335 KW/h**		**44 482 KW/h**
Evolution des consommations				**- 13 %**		**- 31 %**

VIII. PRECONISATIONS POUR AVOIR UNE MAISON ECONOME EN ENERGIE

Dans l'habitat traditionnel, des moyens efficaces et de bon sens étaient utilisés pour profiter de l'ensoleillement (bénéficier des calories l'hiver et éviter les surchauffes l'été) et pour se protéger des vents dominants :

- bâtiments compacts, souvent protégés au nord par des annexes,
- ouvertures principales orientées au sud et ouvertures réduites au nord (sauf exception),
- arbres et bosquets à feuillage caduque à proximité des habitations (ombrage l'été / soleil l'hiver).

Mais ces principes sont très souvent délaissés dans les constructions contemporaines : implantation au milieu de la parcelle, conception architecturale éclatée, baies vitrées surdimensionnées et mal orientées, chauffage inadapté...Pour permettre une diminution des consommations énergétiques, l'architecture des habitations s'inspire de plus en plus des principes de l'habitat ancien, en permettant de vivre au quotidien avec le soleil et la lumière :

- tirer parti du soleil pour s'éclairer et se chauffer,
- profiter de l'ombre et du vent pour rafraîchir les murs,
- utiliser des matériaux à forte inertie thermique,
- installer une bonne isolation et une bonne ventilation de la construction pour éviter les déperditions de chaleur en hiver, d'air frais en été, ainsi qu'une bonne circulation de l'air.

1. IMPLANTATION ET ORGANISATION DU BATIMENT/DES ESPACES

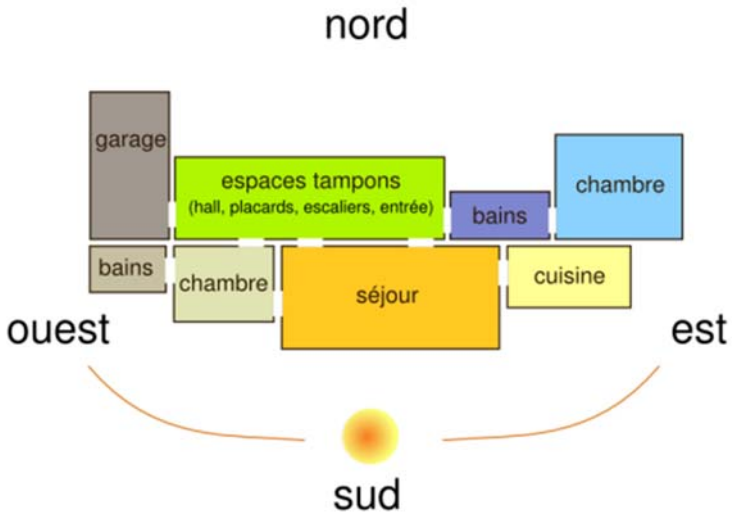
Une construction économe en énergie doit tirer le meilleur profit de l'énergie solaire, abondante et gratuite. En hiver, le bâtiment doit maximiser la captation de l'énergie solaire, la diffuser et la conserver. Inversement, en été, le bâtiment doit se protéger du rayonnement solaire et évacuer le surplus de chaleur du bâtiment.

1.1. Capter / se protéger de la chaleur

Dans l'hémisphère nord, en hiver, le soleil se lève au Sud Est et se couche au Sud-Ouest, restant très bas (22° au solstice d'hiver). Seule la façade Sud reçoit un rayonnement non négligeable durant la période d'hiver. Ainsi, en maximisant la surface vitrée au sud, la lumière du soleil est convertie en chaleur (effet de serre), ce qui chauffe le bâtiment de manière passive et gratuite.
Dans l'hémisphère nord, en été, le soleil se lève au Nord Est et se couche au Sud-Ouest, montant très haut (78° au solstice d'été). Cette fois ci, ce sont la toiture, les façades Est (le matin) et Ouest (le soir) qui sont le plus irradiées. Quant à la façade Sud, elle reste fortement irradiée mais l'angle d'incidence des rayons lumineux est élevé. Il convient donc de protéger les surfaces vitrées orientées Sud via des protections solaires horizontales dimensionnées pour bloquer le rayonnement solaire en été. Sur les façades Est et Ouest, les protections solaires horizontales sont d'une efficacité limitée car les rayons solaires ont une incidence moins élevée. Il conviendra d'installer des protections solaires verticales, d'augmenter l'opacité des vitrages (volets, vitrage opaque) ou encore de mettre en place une végétation caduque.

En règle générale, dans l'hémisphère nord, on propose :

- Une orientation des habitations au maximum plein sud pour capter la chaleur et la lumière du soleil à l'aide de fenêtres et de baies vitrées ;
- Les pièces de vie (cuisine, salon, salle à manger) sont placées côté sud
- Les pièces ne craignant pas le froid (garage, buanderie) sont placées côté nord ;
- Une maximisation des surfaces vitrées orientées au Sud, protégées du soleil estival par des casquettes horizontales,
- Une minimisation des surfaces vitrées orientées au Nord. En effet, les apports solaires sont très faibles et un vitrage sera forcément plus déperditif qu'une paroi isolée,
- Des surfaces vitrées raisonnées et réfléchies pour les orientations Est et Ouest afin de se protéger des surchauffes estivales. Par exemple, les chambres orientées à l'ouest devront impérativement être protégées du soleil du soir.
- les végétaux qui entourent la construction peuvent servir à créer de l'ombre et apporter de la fraîcheur en été.



Disposition conseillée des pièces – Source : ADEME

1.2. Transformer, diffuser la chaleur

Une fois le rayonnement solaire capté et transformé en chaleur, celle-ci doit être diffusée et/ou captée. Le bâtiment doit être conçu pour maintenir un équilibre thermique entre les pièces, diffuser ou évacuer la chaleur via le système de ventilation.
La conversion de la lumière en chaleur se fait principalement au niveau du sol. Naturellement, la chaleur a souvent tendance à s'accumuler vers le haut des locaux par convection et stratification thermique, provoquant un déséquilibre thermique. Afin d'éviter le phénomène de stratification, il conviendra de favoriser les sols foncés, d'utiliser des teintes variables sur les murs selon la priorité entre la diffusion de lumière et la captation de l'énergie solaire (selon le besoin) et de mettre des teintes claires au plafond. Les teintes les plus aptes à convertir la lumière en chaleur et l'absorber sont sombres (idéalement noires) et celles plus aptes à réfléchir la lumière en chaleur sont claires (idéalement blanches). Il est également à noter que les matériaux mats de surface granuleuse sont plus aptes à capter la lumière et la convertir en chaleur que les surfaces lisses et brillantes (effet miroir). Une réflexion pourra également être faite sur les matériaux utilisés, pouvant donner une impression de chaud ou de froid selon leur effusivité.

1.3. Conserver la chaleur ou la fraicheur

En hiver, une fois captée et transformée, l'énergie solaire doit être conservée à l'intérieur de la maison et valorisée au moment opportun. En été, c'est la fraicheur nocturne, captée via une sur ventilation par exemple, qui doit être stockée dans le bâti afin de limiter les surchauffes pendant le jour.

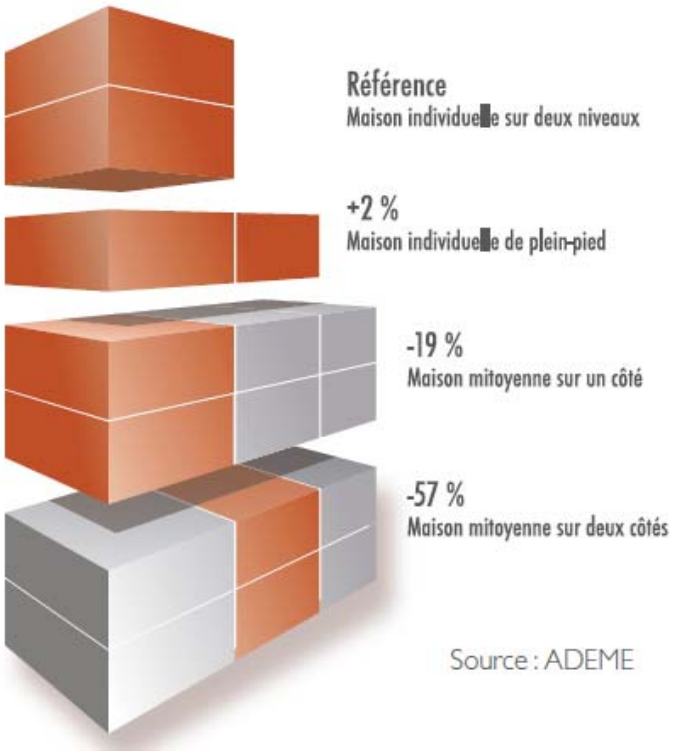
De manière générale, cette énergie est stockée dans les matériaux lourds de la construction. Afin de maximiser cette inertie, on privilégiera l'isolation par l'extérieur.

2. COMPACITE DU BATIMENT

La compacité du bâtiment est un élément déterminant d'un point de vue de l'efficacité énergétique. Les bâtiments à volumétrie complexe multiplient les surfaces de parois extérieures et sont donc plus déperditifs.

Ainsi, pour une surface égale, une maison sur deux étages subit moins de déperditions thermiques qu'un logement de plain-pied. De même, les constructions groupées offrant des murs mitoyens consomment jusqu'à deux fois moins d'énergie qu'un bâtiment isolé, à surfaces habitables égales.

Les bâtiments compacts et groupés (habitat intermédiaire) sont beaucoup plus économes que les bâtiments isolés.



La compacité du bâtiment : Déperdition comparée de l'enveloppe de différents logements (à surfaces habitables égales)

3. ECLAIRAGE NATUREL

L'optimisation des apports d'éclairage naturel, réduisant la consommation électrique d'éclairage est également un point essentiel de la conception bioclimatique. Afin de diminuer le besoin d'éclairage, il faut augmenter la surface vitrée du projet afin d'optimiser l'éclairage naturel. La surface et l'emplacement des fenêtres devront être intelligemment choisis, la forme des pièces devra favoriser la pénétration de la lumière, etc. Il faudra cependant ne pas en abuser. Si une pièce est trop exposée à l'éclairage naturel, l'occupant sera ébloui et fermera les volets, pour allumer l'éclairage artificiel. De plus, un vitrage est plus déperditif qu'un mur isolé.

4. ISOLATION DES BATIMENTS

On sait que l'isolation joue un rôle majeur dans l'objectif de diminuer les consommations énergétiques d'un bâtiment. De plus en plus de matériaux isolants font leur apparition, notamment des matériaux écologiques.

4.1. Les différents isolants disponibles

Il existe en 3 grandes catégories d'isolants qui possèdent des avantages et des inconvénients.

- **Les laines minérales** : classiquement, il s'agit de la **laine de verre** et de la **laine de roche**. Elles ont un très bon rapport performance/prix et une bonne tenue au feu (adaptées aux chauffages au bois). Cependant, leur bilan environnemental n'est pas très favorable (énergie grise importante due la fusion du sable ou de la roche et faible taux de recyclage). Par ailleurs, ces laines ne sont pas très denses et offrent un faible déphasage et donc un confort d'été mauvais (à limiter dans les combles si possible).

- **Les isolants synthétiques dérivés de la pétrochimie** : il s'agit **du polystyrène** (expansé ou extrudé) et du **polyuréthane**. Ils sont également peu coûteux et offrent des performances excellentes (gain de place). Ils ne craignent pas du tout l'humidité ce qui les rend particulièrement adaptés aux usages extérieurs (isolation extérieure). Ils ont par ailleurs une bonne résistance à la compression (isolation sous dalle). En revanche, leur très faible densité implique un très faible déphasage et un confort d'été mauvais (pas d'utilisation dans les combles). Leur bilan écologique est très défavorable et les vapeurs dégagées en cas d'incendie sont mortelles.

- **Les isolants bio-sourcés** : il s'agit d'isolants d'origine végétale (laine de bois, de chanvre, de lin, de coton, liège, paille...), d'origine animale (laine de mouton, plumes d'oie) ou issus du recyclage (ouate de cellulose fabriquée à partir de prospectus, le textile recyclé fabriqué à partir de vieux tissus). Les performances thermiques sont bonnes et ces isolants sont généralement assez denses (idéal dans les combles pour un bon confort d'été). Ils permettent aussi une évacuation naturelle de la vapeur d'eau (notamment les isolants d'origine végétale) et ont l'avantage de posséder un bilan environnemental très favorable. En revanche, le prix est souvent plus élevé sauf pour les produits issus du recyclage. À ce titre, la ouate de cellulose constitue probablement le meilleur rapport performance/prix/confort d'été/environnement.

Les isolants biosourcés	Les isolants minéraux	Les isolants synthétiques
Ouate de cellulose	Laine de verre	Polyuréthane
Laine de bois	Laine de roche	Polystyrène extrudé
Laine de chanvre	Perlite exfoliée	-
Laine de mouton	Vermiculite	-
Liège expansé	-	-
Laine de lin	-	-
Laine de coco	-	-

Les 3 catégories d'isolants

a) Les principales laines minérales

- *Laine de verre :*

La laine de verre est obtenue en fusionnant du sable et des produits verriers. Elle emprisonne de l'air inerte au sein de ses fibres ce qui lui confère un fort pouvoir isolant.

Pouvoir isolant (W/m.K)	0.032 à 0.046
Avantages	Bon marché Facile à mettre en place Produit connu de tous les artisans Matériau léger
Inconvénients	Peut provoquer des irritations cutanées lors de la pose Craint l'eau lors de la pose (ne pas manipuler mouillée) Sujette au tassement (y compris par son propre poids) Confort d'été faible
Environnement	Energie grise : 250 kWh/m^3 (18kg/m^3) Production : à partir de matériaux naturels (sable, calcaire...) ou recyclage du verre Recyclabilité : Difficile donc non rentable et inexistante à l'heure actuelle
Prix	Entre 8 et 15€/m² pour R = 6,5m².K/W 1,33€/m² pour R=1m².K/W
Consultez notre fiche isolant dédiée à la laine de verre pour en savoir plus.	

- *Laine de roche :*

La laine de roche est issue de la fusion du basalte (pierre noire d'origine volcanique) ou de laitier de hauts fourneaux (produit créé lors de la fabrication de la fonte) et dispose d'une excellente résistance au feu.

Pouvoir isolant (W/m.K)	0,033 à 0,044
Avantages	Bon marché Matériau léger Facile à mettre en place Produit connu de tous les artisans Existe en rouleau, en panneau rigide et en soufflage
Inconvénients	Craint l'eau lors de la pose (ne pas manipuler mouillée) Sujette au tassement (y compris par son propre poids)
Environnement	Energie grise : 150 kWh/m^3 Production : à partir de roche volcanique Recyclabilité : oui
Prix	De 20 à 50€/m² pour R = 5 m².K/W 1,8€/m² pour R = 1 m².K/W
Consultez notre fiche isolant dédiée à la laine de roche pour en savoir plus.	

b) Les principaux isolants synthétiques

- *Polyuréthane :*

Les isolants en polyuréthane sont fabriqués à partir d'un moussage de polyols, de méthylène diisocyanate, d'agents gonflants et d'additifs. Son très fort pouvoir isolant fait que le polyuréthane est parfois qualifié de « meilleur isolant thermique ».

Pouvoir isolant (W/m.K)	0,022 à 0,028
Avantages	Résistance mécanique élevée Bonne résistance à l'humidité
Inconvénients	Longévité assez faible Irritation en cas de contact prolongé Dégagement de gaz toxique en cas d'incendie
Environnement	Energie grise : 974 kWh/m^3 Production : issu du pétrole Recyclabilité : non
Prix	De 20 à 50€/m^2 pour R = 6 m^2.K/W 7,39€/m^2 pour R = 1 m^2.K/W
Consultez notre fiche isolant dédiée au polyuréthane pour en savoir plus	

- *Polystyrène extrudé :*

Le polystyrène extrudé est un isolant issu de l'industrie pétrochimique. Son fort pouvoir isolant permet de réduire nettement l'épaisseur à mettre en œuvre par rapport à un isolant traditionnel.

Pouvoir isolant (W/m.K)	0,027 à 0,040
Avantages	Résistance mécanique élevée Résistance à la compression Matériau très léger
Inconvénients	Faible isolation acoustique Dégagement de gaz toxique en cas d'incendie
Environnement	Energie grise : 795 kWh/m^3 Production : issu du pétrole Recyclabilité : non
Prix	De 30 à 40€/m^2 pour R=6,5m^2.K/W 2.7€/m^2 pour R=1m^2.K/W
Consultez nos fiches isolant dédiées au polystyrène expansé et au polystyrène extrudé pour en savoir plus	

c) Les principaux isolants bio-sourcés

- *Ouate de cellulose :*

La ouate de cellulose est obtenue à partir de papiers recyclés qui ont reçu des traitements pour garantir la résistance au feu, empêcher la formation de moisissure et la venue de rongeurs. Sa composition en fait un isolant biosourcé qui associe forte perméabilité à la vapeur d'eau et une bonne régulation de l'humidité. Elle reste cependant sensible au tassement.

Pouvoir isolant (W/m.K)	0,038 à 0,042
Avantages	Bon marché Ininflammable Traitement contre les nuisibles inoffensifs pour la santé (sel de Bore)
Inconvénients	Présence possible d'additif pour ignifuger Sujette au tassement (y compris par son propre poids) Inflammation pulmonaire possible lors de la pose, utiliser gants et masque
Environnement	Energie grise : 50 kWh/m^3 Production : recyclage du papier Recyclabilité : difficile à cause de l'encre du papier
Prix	De 10 à 25€/m^2 pour R = 6 m^2K/W 1,44€/m^2 pour R = 1 m^2.K/W
Consultez notre fiche isolant dédiée à la ouate de cellulose pour en savoir plus.	

- *Laine de bois :*

La laine de bois, aussi appelée fibre de bois, est obtenue par défibrage de chutes de bois ou d'arbres autrement inexploités. Elle est appréciée pour sa forte contribution au confort d'été et pour ses qualités hygroscopiques.

Pouvoir isolant (W/m.K)	0,036 à 0,046
Avantages	Bonne longévité Confort d'été
Inconvénients	Sensible à l'humidité Doit être traitée contre les rongeurs Doit être ignifugée Est souvent couplée avec 25% de polyuréthane pour lier les fibres entre elles
Environnement	Energie grise : 161 kWh/m^3 Production : déchets de l'industrie du bois Recyclabilité : oui
Prix	20 à 30€/m^2 pour R = 6 m^2.K/W 3€/m^2 pour R = 1 m^2.K/W
Consultez notre fiche isolant dédiée à la laine de bois pour en savoir plus	

- *Laine de chanvre :*

Cette plante peut être transformée en laine de chanvre, un isolant biosourcé qui associe forte perméabilité à la vapeur d'eau et régulation de l'humidité.

Pouvoir isolant (W/m.K)	0,039 à 0,060
Avantages	Bonne isolation phonique Naturellement ininflammable Longévité élevée Naturellement insensible aux rongeurs (même si c'est un végétal à la base) Insensible à l'humidité, particulièrement adaptée pour les pièces humides
Inconvénients	Certains fabricants lient le chanvre avec du polyuréthane, évitez ces produits (préférez ceux liés à l'amidon qui est naturel) Parfois traitée au sel de Bore, bien qu'ininflammable naturellement, là encore évitez ces produits Panneaux de chanvre pas forcément faciles à mettre en place car assez difficiles à couper
Environnement	Energie grise : 48 kWh/m^3 Production : tige du chanvre (agriculture) Recyclabilité : oui (végétal sans traitement)
Prix	26 €/m^2 pour R = 5 m^2.K/W 8,12 €/m^2 pour R = 1m^2.K/W
Consultez nos fiches isolant dédiées au chanvre pour en savoir plus	

- *Laine de mouton :*

Après la tonte des moutons, la laine est lavée, démêlée, peignée, lavée et enfin façonnée pour arriver aux isolants commercialisés. Il est tout de même possible de se fournir de la laine de mouton brute directement à un éleveur de moutons.

Pouvoir isolant (W/m.K)	0,035 à 0,045
Avantages	Bonne longévité Bonne résistance à l'humidité Possibilité de production locale
Inconvénients	Doit être ignifugée et traitée contre les rongeurs La pose doit se faire avec masque + gants Choisir de la laine de mouton sans ajout de polyester Faible inertie et donc moins de confort en été Difficulté de mise en œuvre pour des parois verticales (plus adaptée pour des combles)
Environnement	Energie grise : 51 kWh/m^3 Production : 100% laine de mouton Recyclabilité : oui
Prix	Entre 10 et 20 €/m^2 pour R = 2,78 m^2.K/W Entre 2 et 8 €/m^2 pour R = 1 m^2.K/W
Consultez notre fiche isolant dédiée à la laine de mouton pour en savoir plus	

- *Liège expansé :*

L'écorce du chêne-liège est prélevée tous les 8 à 10 ans, en exploitation raisonnée, pour fabriquer des bouchons, de la décoration et … de l'isolation ! C'est sous sa forme expansée qu'il est le plus utilisé en France ; les granules de liège sont chauffés à la vapeur à une température de 300°C, ils doublent de taille et s'agglomèrent sous l'action naturelle de sa résine, la subérine. Mais on peut trouver du liège en vrac pour remplir des murs par exemple.

Pouvoir isolant (W/m.K)	0,037 à 0,041
Avantages	Naturellement imputrescible : longévité élevée L'un des meilleurs isolants phoniques, souvent utilisé dans les salles de spectacle
Inconvénients	La production d'un chêne est faible, environ une récolte de liège tous les 10 ans
Environnement	Energie grise : 450 kWh/m^3 Production : à partir de l'écorce des chênes liège Recyclabilité : oui
Prix	80€/m^2 pour R = 5 m^2.K/W 14,56€/m^2 pour R = 1m^2.K/W
Consultez notre fiche isolant dédiée au **liège** pour en savoir plus	

- *Laine de lin*

Les fibres des tiges de lin non utilisées pour le textile sont assemblées et thermoliées dans la plupart des cas avec du polyester. On la trouve donc majoritairement sous forme de panneaux mais aussi en vrac.

Pouvoir isolant (W/m.K)	0,0.35 à 0,041
Avantages	Matériau sain Isolation phonique Résistant au vieillissement
Inconvénients	Prix élevé
Environnement	Energie grise : 48 kWh/m^3 Production : à partir du lin donc naturelle Recyclabilité : oui
Prix	21.4€/m^2 pour R=2.7m^2.K/W 7.9€/m^2 pour R=1m^2.K/W

- *Laine de coco :*

La fibre de coco est récupérée sur l'extérieur de la noix de coco. Ces fibres sont assemblées pour former des rouleaux souples ou des panneaux plus rigides.

Pouvoir isolant (W/m.K)	0,037 à 0,047
Avantages	Ne craint pas l'humidité Bonne isolation acoustique Naturellement imputrescible : longévité élevée
Inconvénients	La culture du cocotier utilise parfois des pesticides N'est pas issue de production locale, beaucoup de CO_2 dégagé pour le transport Doit être ignifugée au sel de Bore, même si la laine de coco a une bonne résistance au feu naturellement
Environnement	Energie grise : 230 kWh/m^3 Production : bourre de la noix de coco (extérieur de la noix de coco) Recyclabilité : oui
Prix	27€/m^2 pour R=2.5m^2.K/W 10,8€/m^2 pour R=1m^2.K/W

4.2. Quel isolant pour quel usage ?

Laine de verre, isolant le plus utilisé jusqu'à aujourd'hui, ou encore laine de roche, polystyrène expansé ou PSE, ouate de cellulose, fibre de bois, laine de mouton ; dans le monde de l'isolation, ce ne sont pas les matériaux qui manquent. Tous permettent d'atteindre le niveau exigé par la RT 2012.

Pour tendre vers les performances énergétiques définies par les normes de la Réglementation thermique 2020, les futures constructions devront miser sur des matériaux performants énergétiquement, mais aussi respectueux de l'environnement. Ainsi, l'isolation repose sur de nouveaux matériaux comme le chanvre, la fibre de bois, le liège, le feutre de laine de mouton, la ouate de cellulose ou encore la paille, qui sont à privilégier.

PRODUITS D'ISOLATION	CONDITIONNEMENT	USAGES LES PLUS FRÉQUENTS
ISOLATION RÉPARTIE (PLUTÔT UTILISÉE EN NEUF)		
Béton cellulaire	Blocs à coller, panneaux	Murs porteurs Planchers (sur vide sanitaire, intermédiaire, combles habitables)
Monomur de briques en terre cuite	Briques à maçonner ou à joints minces	Murs porteurs
ISOLATION INTÉRIEURE OU EXTÉRIEURE		
ISOLANTS ISSUS DE L'INDUSTRIE PÉTROCHIMIQUE		
Polystyrène expansé (PSE)	Panneaux	Planchers (terre-pleins, dallages, chapes flottantes) Murs (complexes de doublage, isolation par l'extérieur, bardage) Combles habitables (panneaux de toiture) et toitures-terrasses
	Entrevous	Planchers à entrevous et poutrelles béton ou treillis
Polystyrène extrudé (XPS)	Panneaux	Planchers et sols (terre-pleins), murs Combles habitables (panneaux de toiture, sarking) et toitures-terrasses
Polyuréthane (PUR)	Panneaux Projections	Toitures, toitures-terrasses, doublage des murs, planchers et sols Sous chapes, murs
FIBRES ET ISOLANTS MINÉRAUX		
Laines minérales, laine de roche et laine de verre	Rouleaux et panneaux Projections	Toitures, toitures-terrasses, combles perdus ou aménagés, cloisons, contre-cloisons, complexes de doublage et bardages Panneaux-sandwiches, planchers et dalles flottantes
Perlite expansée	Panneaux	Toitures-terrasses, murs
Verre cellulaire	Panneaux, blocs	Toitures-terrasses, murs
ISOLANTS BIOSOURCÉS OU RECYCLÉS		
Laine et fibre de bois	Panneaux	Planchers, combles, toitures, murs
Chanvre	Vrac, rouleaux, panneaux	Murs, toitures, sols
Béton de chanvre	Coulé sur chantier	Murs non porteurs (ossature bois)
Ouate de cellulose	Vrac, panneaux	Combles, planchers, toitures, murs
Laine de mouton	Rouleaux, vrac	Combles, toitures, planchers, murs et cloisons
Plumes de canard	Rouleaux	Entre éléments d'ossature horizontaux ou inclinés
	Panneaux	Entre éléments d'ossature verticaux
Liège expansé	Panneaux	Murs, combles, toitures, cloisons, planchers
Fibres de textile recyclé	Rouleaux, panneaux	Murs, combles, toitures, cloisons, planchers

4.3. Quelle épaisseur d'isolant ?

Un bon isolant procure au bâtiment la performance thermique recherchée sans perdre ses qualités techniques dans le temps

Quatre indicateurs à connaître :

- **Le coefficient de conductivité thermique lambda λ** exprime la capacité de l'isolant à conduire la chaleur. Plus est petit, plus le matériau est isolant. Les matériaux isolants courants ont un compris entre 0,025 et 0,05 W/m.K.
- **La résistance thermique R** exprime la performance de l'isolant. Exprimée en m².K/W, elle s'obtient par le rapport de l'épaisseur sur la conductivité thermique du matériau. Plus R est grand, plus la paroi est isolante.
- **Le coefficient de transmission thermique U** exprime la performance des parois composées de plusieurs matériaux. On utilise aussi Uw pour les fenêtres, Ug pour les vitrages et Up pour les portes. Plus U est faible, plus l'isolation thermique est bonne.
- **Le facteur de transmission solaire Sw** mesure la proportion d'énergie transmise au travers d'une paroi vitrée.

COMMENT CALCULER L'ÉPAISSEUR D'UN ISOLANT ?
Épaisseur (cm) = lambda (λ) x résistance (R) x 100

Exemples :

- Laine de verre : λ = 0,04 W/(m.°C) ; R = 5 m².°C/W

  e= R x λ x 100= 5 x 0,04 x 100 = 20 cm

  Il faut une épaisseur de 20 cm de laine de verre

- Laine de mouton : λ = 0,035 W/(m.°C), R = 5 m².°C/W

  e= R x λ x 100= 5 x 0,035 x 100 = 17,5 cm

  Il faut une épaisseur de 17,5 cm de laine de mouton

5. VENTILATION

5.1. Pourquoi ventiler son habitation ?

Le bon renouvellement de l'air intérieur est indispensable pour offrir des conditions de vie saines dans un logement. Tous les êtres vivants, qu'ils soient animaux ou végétaux respirent. Ils consomment alors de l'oxygène et rejettent du CO2. Si une maison, ou n'importe quel habitacle (voiture par exemple), n'est pas ventilée, le taux d'oxygène va diminuer ce qui peut être à terme dangereux. En ventilant, on amène de l'air neuf qui permet d'apporter de l'oxygène. Le développement des virus est également limité lorsque la maison est bien ventilée. Les êtres vivants rejettent aussi de l'humidité, par la respiration ou la sudation entre autres, mais nos activités en rejettent également, notamment dans la cuisine, la salle d'eau, la buanderie... Toutes ces pièces avec des points d'eau constituent d'ailleurs les pièces de service, qui seront équipées de bouches d'extraction de ventilation (là où l'air sera aspiré). L'évacuation de l'humidité est primordiale pour éviter l'apparition de salpêtre et donc de maladies respiratoires, ou la dégradation du bâti. L'activité humaine, avec la cuisson des aliments, les cheminées ou l'utilisation de bombes aérosols, provoquent le rejet de polluant qu'il est vital d'évacuer. Le CO par exemple (monoxyde de carbone) est rejeté lors d'une combustion incomplète et s'il n'est pas évacué rapidement, les risques d'intoxication et de mort sont élevés. La pollution de l'air intérieur est une nouvelle thématique qui est aujourd'hui de plus en plus pointée du doigt, notamment par l'ADEME. Des campagnes de mesures doivent ainsi être effectuées dans les écoles ou les crèches. En effet, contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'air intérieur est généralement plus pollué que l'air extérieur. Ceci est dû au fait que les polluants sont "piégés" à l'intérieur, notamment les COV (Composé Organique Volatile). En définitive, pour garantir un air sain dans la maison, quelques gestes simples suffisent. Il faut, dès que c'est possible, aérer 10 à 15 minutes par jour et veiller à avoir une ventilation efficace et de ne pas boucher les aérations au-dessus des fenêtres. Enfin, l'installation d'un système de ventilation va limiter l'apparition de bactéries, de polluants et permettre de contrôler le taux d'humidité ambiant.

5.2. Des solutions pour limiter les consommations liées à la ventilation

Chaque m^3 d'air neuf destiné à ventiler les bâtiments entrainent des consommations d'énergies en hiver.

Plusieurs techniques permettent de limiter ces consommations. Parmi elles :

- la ventilation double flux,
- les ventilations hygrorégables (ne permet de ventiler qu'en cas d'humidité excessive),
- la ventilation statique permettant de limiter les consommations des auxiliaires. L'évolution de cette technique sera suivie de près. Des programme de recherche sont en cours pour mieux maitriser cette technique consistant à utiliser le principe de la ventilation naturelle tout en maîtrisant les débits d'air (objectifs : avoir les débits d'airs minimum sans dépenser d'énergie pour le chauffage en cas de surventilation),
- les techniques dites de puits canadien ou provençal,
- les ventilations pilotées par sonde CO2 (ne permet de ventiler qu'en présence d'usagers),
- des solutions innovantes (mur pariétodynamiques, etc.),
- etc. …

5.3. La ventilation double flux

a) Définitions, principes de fonctionnement

La VMC (ou Ventilation Mécanique Contrôlée) double flux est une amélioration de la VMC simple flux. Au lieu de se limiter à extraire l'air des pièces humides (cuisine, salle de bain, buanderie...) pour le rejeter à l'extérieur, la VMC double flux récupère les calories de l'air vicié et chaud des pièces humides pour préchauffer l'air neuf extérieur qui entre dans la maison, avant de l'insuffler dans les pièces de vie.

Principe de la VMC double flux

Les pertes de chaleur liées au renouvellement d'air représentent environ 20 % des dépenses énergétiques d'un logement. La VMC double flux, ou ventilation double flux, permet de réduire jusqu'à 15% la facture de chauffage. Ce système de ventilation permet donc de réduire efficacement la facture de chauffage. Il permet également d'améliorer fortement la qualité de l'air en filtrant les pollens, allergènes, polluants, etc.

ATOUTS	CONTRAINTES
• La consommation de chauffage diminue puisque l'air qui entre est plus chaud et doit donc être moins chauffé • On gagne en confort puisqu'il est plus agréable d'avoir de l'air entrant à 10°C plutôt qu'à -5°C • La qualité de l'air entrant est très bonne qualité grâce à la filtration des pollens, spores, moisissures, particules fines et bactéries • Les bruits de l'extérieur sont considérablement réduits puisqu'il n'y a plus d'entrée d'air au-dessus des fenêtres • Compatible avec les puits canadiens, qui permettent une réelle rentabilité énergétique et offre la possibilité d'un rafraîchissement en été	• Le prix ...mais le chauffage est économisé. • Nettoyage régulier des filtres • il y a plus de tuyaux à installer que dans la VMC simple flux : entrée d'air

Atouts et contraintes de la VMC double flux

b) Aspect financier

➢ *Coûts (achat, installation, entretien, rentabilité)*

Le prix d'une VMC double flux installée par un professionnel varie de 4 000 à 8 000€. Hors pose, une VMC double flux coûte entre 750 et 3 000€ contre autour de 350€ pour une VMC simple flux.

➢ *Aides*

Le premier point à souligner est que les travaux portant sur la ventilation ne bénéficient pas de crédit d'impôt. Toutefois ces travaux peuvent entrer dans le cadre de rénovation énergétique globale, ce qui est éligible à l'Eco-Prêt à taux zéro (éco PTZ).

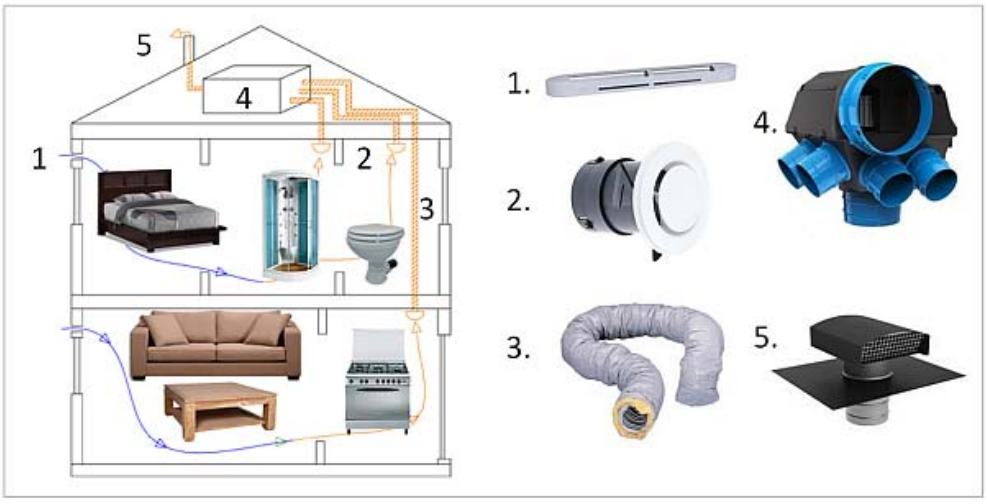
5.4. La VMC hygroréglable

a) Définitions, principes de fonctionnement

La VMC hygroréglable est un système de ventilation simple flux qui prend en compte le taux d'humidité relative de la pièce pour contrôler la ventilation. Le renouvellement de l'air est ajusté au plus près des besoins ce qui optimise les consommations d'énergie que ce soit au niveau du chauffage (moins d'air chaud extrait) ou de la consommation électrique du moteur (moins puissant).

Elle est plus perfectionnée qu'une ventilation autoréglable, activée manuellement par l'utilisateur. Elle peut être à simple ou à double flux :

- La VMC simple flux hygro A : le débit des bouches d'évacuation est automatisé, se réglant en fonction du taux d'humidité ambiant grâce à des capteurs.
- La VMC simple flux hygro B : en plus des bouches d'évacuation, les entrées d'air sont également modulables en fonction de l'humidité, ce qui la rend plus performante.
- La VMC hygroréglable à double flux : un échangeur thermique récupère les calories de l'air vicié pour chauffer l'air entrant, et elle se règle automatiquement en fonction de l'hygrométrie.



Principe de la VMC hydroréglable

ATOUTS	CONTRAINTES
• Il assainit l'air de façon efficace et régulière, sans nécessiter une activation manuelle. • Il est peu coûteux à l'achat comme à l'installation et consomme assez peu d'électricité. • Une VMC, surtout de type hygro B ou à double flux, occasionne beaucoup moins de déperditions de chauffage qu'un système entièrement autoréglable.	• S'il reste redoutable contre les odeurs, il ne stoppe pas pour autant entièrement les éventuels polluants contenus dans l'air. • Il peut occasionner des courants d'air dans la maison, surtout avec un système à simple flux. Ce désagrément est évacué avec une VMC à double flux, plus onéreuse cependant. • Il peut arriver que le système d'extraction d'air surchauffe un peu les jours de forte chaleur.

Atouts et contraintes de la VMC hydroréglable

b) Aspect financier

➢ *Coûts (achat, installation, entretien, rentabilité)*

Les prix d'une VMC hygroréglable sont très variables selon le modèle choisi. Une VMC simple flux coûtera entre 700 et 1200 euros suivant si elle est installée dans un logement neuf ou dans le cadre de travaux de rénovation. Le prix d'un modèle double flux dépasse généralement les 1500 euros, mais occasionnera rapidement des économies conséquentes sur votre facture de chauffage, car dans une maison bien isolée, elle limite fortement les déperditions de chaleur.

➢ *Aides*

Le premier point à souligner est que les travaux portant sur la ventilation ne bénéficient pas de crédit d'impôt. Toutefois ces travaux peuvent entrer dans le cadre de rénovation énergétique globale, ce qui est éligible à l'Eco-Prêt à taux zéro (éco PTZ).

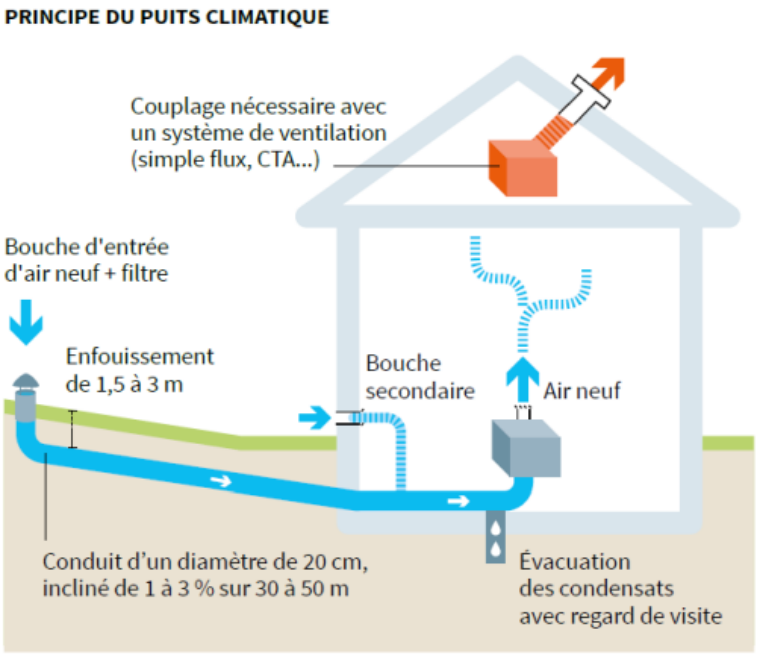
5.5. Le puits canadien

a) Définitions, principes de fonctionnement

Le puits climatique, également appelé puits canadien ou puits provençal, est un système de ventilation qui tempère l'air neuf entrant dans la maison. L'air neuf circule dans un tube enfoui dans le sol à plus d'un mètre de profondeur, et tire ainsi profit de la température constante du sol (environ 13°C), avant d'être pulsé à l'intérieur. En hiver, l'air frais est préchauffé pour réduire les besoins de chauffage. En été, il est rafraîchi pour améliorer le confort du bâtiment. Ce dispositif, simple dans son principe, est toutefois délicat à mettre en œuvre. Mal dimensionné, il est inefficace d'un point de vue thermique.

Certaines précautions de mise en œuvre doivent être observées pour éviter la formation de moisissures susceptibles de contaminer l'air pulsé dans le bâtiment.

Couplé à une VMC, le puits canadien améliore le confort thermique du logement et permet de réaliser jusqu'à 20 % d'économies d'énergie. En effet, la VMC double flux bénéficie de l'air déjà réchauffé par ce puits et ne peut donc pas geler en cas de grand froid. Dans le cadre de cette association, le puits canadien fait la première partie du travail en réchauffant l'air extérieur grâce à ses plaques. L'air est ensuite transféré au cœur de la VMC double flux qui, elle-même, apporte un peu de chaleur à l'air grâce à son récupérateur et le diffuse dans la maison.



Principe du puits canadien

ATOUTS	CONTRAINTES
• Système fonctionnant été comme hiver • Confort thermique dans la maison • Bruits extérieurs réduits (plus d'entrées d'air sur les fenêtres • Ecologique car ne fait pas intervenir de fluides frigorigènes	• Tuyau à une profondeur > 1,5 m • Consommations électriques plus élevées dû au fonctionnement du ventilateur (ces consommations seront compensées par les économies d'énergie réalisées) • Les moteurs tournent à plein régime si les filtres ne sont pas nettoyés régulièrement • Risque de condensation si mal installé ou arrêt prolongé du système

Atouts et contraintes du puits canadien

b) Aspect financier

- *Coûts (achat, installation, entretien, rentabilité)*

Le prix d'un puits canadien est compris entre 1 500 et 5 000 € HT hors frais d'ingénierie, de terrassement (500 à 1000 €), d'installation et de paramétrage. Le prix peut varier du simple ou double selon la complexité du chantier.

- *Aides*

Le premier point à souligner est que les travaux portant sur la ventilation ne bénéficient pas de crédit d'impôt. Toutefois ces travaux peuvent entrer dans le cadre de rénovation énergétique globale, ce qui est éligible à l'Eco-Prêt à taux zéro (éco PTZ).

6. AUTRES ASTUCES POUR APPRENDRE A CONSOMMER MOINS D'ENERGIE.

Quelques exemples de comportement à avoir pour consommer moins d'énergie :

- Réguler et anticiper la température du chauffage (système de régulation du chauffage) et l'eau chaude du sanitaire.
- L'extinction et l'allumage des luminaires qui peuvent être automatisés.
- La fermeture des volets qui peuvent aussi être automatisés.
- Couvrez vos casseroles (30% d'économie) !
- Débranchez les appareils non utilisés car certains peuvent utilisés de l'électricité.
- Optez pour des lampes basses consommation.
- Dégivrez votre frigo, car un appareil givré consomme plus d'électricité (+30% de consommation).
- Ne lancer un lave-vaisselle que quand il est plein. Et s'il n'est pas plein le faire tourner en demi-charge qui permet de laver qu'un étage.
- Utiliser une douchette économe, qui a un faible débit ou utiliser un système 'stop douche' qui permet de couper l'eau pendant que vous ne vous rincez pas.
- Mettez une chasse d'eau à double commande pour réduire la consommation d'eau.

IX. PISTES D'ACTIONS POUR LA COMMUNE / AMENAGEUR POUR ENCOURAGER LE RECOURS AUX ENERGIES RENOUVELABLES ET LA BAISSE DES CONSOMMATIONS

La commune et/ou l'aménageur peuvent utiliser plusieurs leviers pour favoriser le développement des énergies renouvelables :

1. MESURES OBLIGATOIRES

- Des mesures à inscrire dans le règlement du lotissement. Elles portent sur l'implantation du bâti pour favoriser l'ensoleillement, les modalités éventuelles d'intégration des installations d'énergie renouvelables visibles depuis l'espace public, et de l'obligation de recours aux énergies renouvelables. Par exemple :
    - Imposer au moins 10% de couverture de la Consommation d'énergie primaire du bâti par une ou plusieurs installations recourant aux énergies renouvelables.

2. MESURES INCITATIVES

- L'aménageur et/ou la commune peuvent prendre des mesures financières afin d'encourager le recours aux énergies renouvelables. Par exemple :
    - Réduction de la charge foncière pour les constructions les plus performantes.

- La commune peut sensibiliser ses habitants pour les inciter à réduire leurs consommations énergétiques. L'information sur ces solutions de limitation des consommations d'énergie est à distinguer de celle concernant les énergies renouvelables. Mais en pratique les deux types d'informations peuvent être délivrés à travers les mêmes vecteurs de communication :dossier d'information, réunions… Par exemple :
    - Proposer une formation de quelques heures aux habitants sur les moyens pour réduire les consommations d'énergies au sein de leurs habitations et les aides disponibles.
    - Promouvoir la mobilité durable

3. MESURES LIEES A LA FOURNITURE

- La commune peut souscrire à un contrat de fourniture d'électricité à 100% d'origine renouvelable. Concrètement, l'intégralité des bâtiments municipaux et de l'éclairage public peuvent être alimentés par de l'électricité produite par des éoliennes, du photovoltaïque ou par la biomasse. L'origine renouvelable de cette électricité est garantie par un certificat homologué. Cette décision permet d'encourager la filière des énergies renouvelables.
- La collectivité aménageur développe son réseau de distribution d'énergie (électricité ou chaleur) par une installation qu'elle finance ou qu'elle délègue à une société. Par exemple :
    - Création d'un réseau de chaleur
    - Utilisation des équipements publics pour l'installation de panneaux photovoltaïques permet également de contribuer à la consommation d'électricité du quartier : éclairage public, bornes de recharges de véhicules électriques, couverture des parkings sous pergolas, abri vélo, etc.

X. ANNEXES

DM EAU

SOLAIRE **PASSIF**

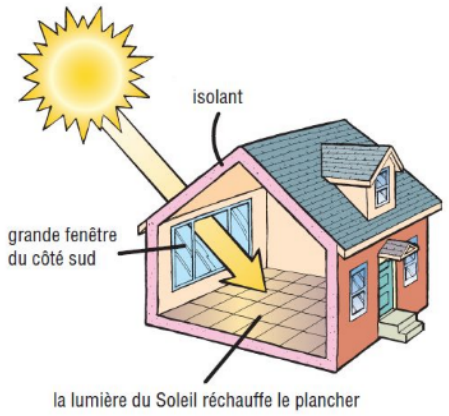
Le solaire passif
Fiche n°1

Principe

L'énergie solaire passive, c'est l'utilisation dans le domaine architectural de la chaleur gratuite du soleil.

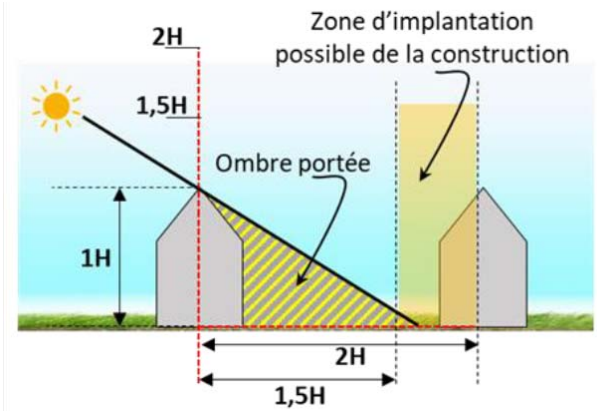
L'énergie solaire passive est la technique qui permet à l'énergie solaire d'être exploitée directement sans avoir à la traiter. En fonction de la conception architecturale de la construction, la consommation d'énergie naturelle peut être considérablement améliorée grâce à l'apport direct du rayonnement solaire.

Le système solaire « passif »

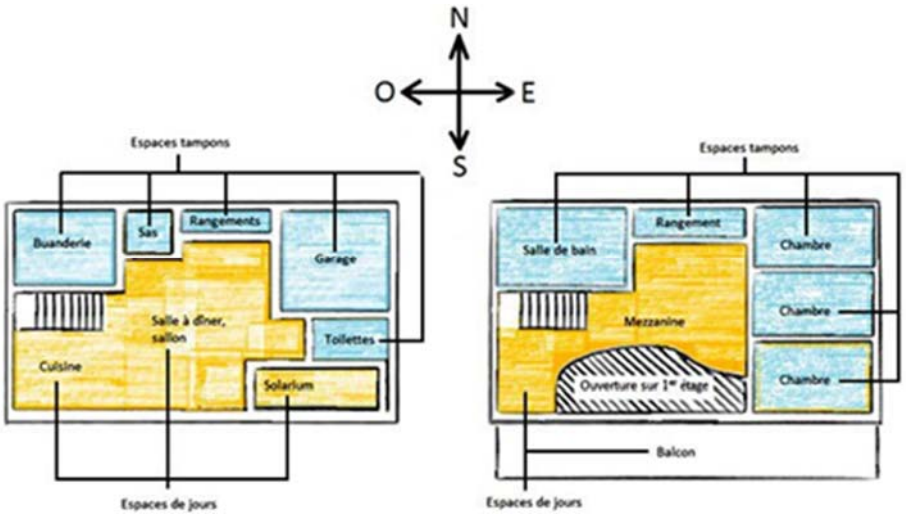


Bien disposer les parcelles de terrain

Les apports solaires passifs peuvent permettre de limiter les besoins en chauffage des bâtiments. Pour ce faire, à l'échelle des parcelles, il est nécessaire de prévoir les façades principales au Sud : une orientation Sud-Ouest à Sud-Est (Sud +/- 20°) reste pertinente. Les façades principales s'entendent la plupart du temps « côté jardin » pour les maisons individuelles. De plus, un recul suffisant entre les bâtiments doit être pris en compte pour permettre un accès au soleil au Sud dans les conditions les plus défavorables (solstice d'hiver). Ainsi, dans le cadre du projet, le plan masse a été réalisé de manière à maximiser le nombre de parcelles individuelles orientées Nord-Sud pour favoriser l'optimisation des apports solaires. Les constructions s'implanteront de manière à bénéficier d'un ensoleillement maximal et optimiser les dispositifs de captation solaire, suivant le principe du schéma ci-dessous, relatif aux masques solaires.



Implantation privilégiée des constructions et masque solaire



Dispositions des pièces à privilégier

Bien disposer les pièces dans un maison

Même la disposition des pièces joue sur la capacité du rayonnement solaire à chauffer le bâtiment. Les pièces qui nécessitent peu de chauffage comme les espaces de rangement, la buanderie, les toilettes, sont idéalement placées au nord. Les pièces de vie comme le salon, la cuisine, la salle à diner, sont idéalement placées au sud. Les chambres doivent de préférence être placées sur le long de la façade est, ainsi on évite la surchauffe possible des fins de journée

Fiche réalisée dans le cadre de l'étude de faisabilité des approvisionnements en énergie renouvelables

DM EAU
PA de la Chauvelière
35 150 JANZE
www.dmeau.fr

DM EAU

SOLAIRE PHOTOVOTAIQUE

Le photovoltaïque
Fiche n°2

Principe

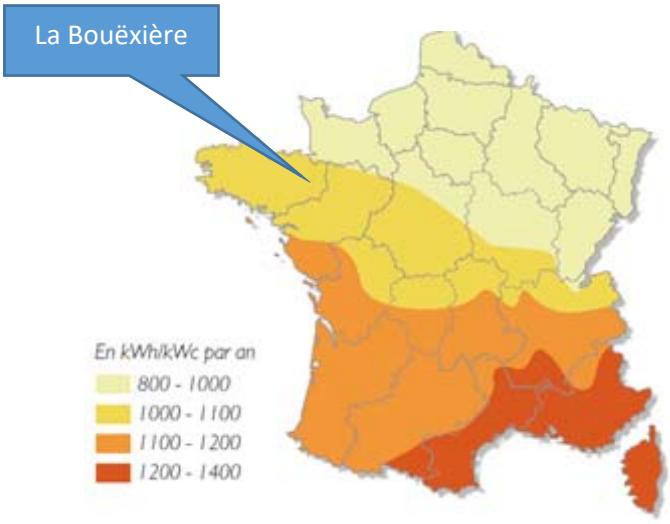
L'énergie solaire photovoltaïque permet la production d'électricité Les panneaux photovoltaïques sont composés de cellules de silicium, capables de capter la lumière du soleil puis de la transformer en électricité. Les capteurs photovoltaïques produisent un courant continu lorsqu'ils reçoivent de la lumière. Ce courant est ensuite transformé en courant alternatif grâce à un onduleur. Le courant est ensuite envoyé jusqu'à un compteur électrique de production permettant de mesurer l'énergie produite. L'électricité produite est ensuite autoconsommée et/ou injectée sur le réseau

Il existe plusieurs types de panneaux dont les monocristallins et les polycristallins qui sont les plus utilisés. Ces panneaux peuvent être utilisés sur les toitures des habitations (inclinées ou terrasses), mais aussi comme auvents solaires ou ombrières photovoltaïques pour protéger les véhicules et enfin pour alimenter les éclairages publics.

Module polycristallin (à gauche) et module monocristallin (à droite)

Situation de La Bouëxière

La commune de La Bouëxière bénéficie d'un ensoleillement très correct (1700 heures par an) et présente donc une situation idéale pour la production d'énergie photovoltaïque. **On estime qu'à La Bouëxière, 1 kWc produira 1000 kWh annuel.**



Fiche réalisée dans le cadre de l'étude de faisabilité des approvisionnements en énergie renouvelables

DM EAU
PA de la Chauvelière
35 150 JANZE
www.dmeau.fr

Simulation

Prenons l'exemple d'une famille de 3-4 personnes (2 adultes et 1 ou 2 enfants) qui construit une maison individuelle de 110 m² de surface de plancher au sein du lotissement et qui souhaite installer des panneaux solaires photovoltaïques sur la toiture en vue de produire de l'électricité.

Cas n°1 – Vente totale de l'électricité produite

Installation d'une puissance de 3 kWc

Caractéristiques
- Puissance totale : 3 kWc (ou 3 000 Wc).
- 10 panneaux monocristallins de 300 Wc
- 17 m² de toiture exposé côté sud (1,7m²/panneau)

Coûts :
- Cout de l'installation : 8 000 € tout compris
- Dépenses courantes :
  - 840 € à ENEDIS (42 € /an) sur 20 ans
  - Non imposable (pour les 3 kWc)
- Aides de l'état : 0 €
- Cout final sur 20 ans : 8 840 €

Bilan :
- Production annuelle estimée : 3 000 kWh (1 kWc = 1 000 kWh)
- Prix de vente : 0,1857 € / kWh (Tarif au 31 décembre 2019 pour 3 kWc)
- Vente totale : 557 € /an sur 20 ans, soit 11 140 € au total
- Bénéfice de 2 300 €
- **Retour sur investissement : 16 ans en moyenne**

Installation d'une puissance de 6 kWc

Caractéristiques
- Puissance totale : 6 kWc (ou 6 000 Wc).
- 20 panneaux monocristallins de 300 Wc
- 35 m² de toiture exposé côté sud (1,7m²/panneau)

Coûts :
- Cout de l'installation : 14 000 € tout compris
- Dépenses courantes :
  - 840 € à ENEDIS (42 € /an) sur 20 ans
  - + Impôt sur le revenu
- Aides de l'état : 0 €
- Cout final sur 20 ans : 14 840 €

Bilan :
- Production annuelle estimée : 6 000 kWh (1 kWc = 1 000 kWh)
- Prix de vente : 0,1579 € / kWh (Tarif au 31 décembre 2019 pour 6 kWc)
- Vente totale : 947 € /an sur 20 ans, soit 18 940 € au total
- Bénéfice de 4 100 €
- **Retour sur investissement : 15 ans en moyenne**

Avec la baisse du prix du rachat, entre 15 et 18 ct€ (fin 2019), et l'augmentation du prix de l'électricité, la rentabilité d'installation de panneaux solaires photovoltaïques pour la vente totale est de plus en plus faible et se situe autour de 15 à 20 ans. Il s'agit d'un placement financier devenu de moins en moins intéressant. C'est pourquoi, aujourd'hui, très peu de projets photovoltaïques optent pour la vente totale.

DM EAU
PA de la Chauvelière
35 150 JANZE
www.dmeau.fr

Simulation

Prenons l'exemple d'une famille de 3-4 personnes (2 adultes et 1 ou 2 enfants) qui construit une maison individuelle de 110 m² de surface de plancher au sein de la ZAC et qui souhaite installer des panneaux solaires photovoltaïques sur la toiture en vue de produire de l'électricité.

Cas n°2 – Autoconsommation avec vente du surplus

Installation d'une puissance de 3 kWc

Caractéristiques
- Puissance totale : 3 kWc (ou 3 000 Wc).
- 10 panneaux monocristallins de 300 Wc
- 17 m² de toiture exposé côté sud (1,7m²/panneau)

Coûts :
- Cout de l'installation : 8 000 € tout compris
- Dépenses courantes :
  - 840 € à ENEDIS (42 € /an) sur 20 ans
  - Non imposable (pour les 3 kWc)
- Aides de l'état : 1 740 € sur 5 ans, soit 348 € par an pendant 5 ans
- Cout final sur 20 ans : 7 100 €

Bilan :
- Production annuelle estimée : 3 000 kWh (1 kWc = 1 000 kWh)
- Vente du surplus : tarif de 0,10 € /kWh
- **Réduction de la facture de 15 à 20 % en moyenne**

Installation d'une puissance de 6 kWc

Caractéristiques
- Puissance totale : 6 kWc (ou 6 000 Wc).
- 20 panneaux monocristallins de 300 Wc
- 35 m² de toiture exposé côté sud (1,7m²/panneau)

Coûts :
- Cout de l'installation : 14 000 € tout compris
- Dépenses courantes :
  - 840 € à ENEDIS (42 € /an) sur 20 ans
  - + Impôt sur le revenu
- Aides de l'état : 1 740 € sur 5 ans, soit 348 € par an pendant 5 ans
- Cout final sur 20 ans : 13 100 €

Bilan :
- Production annuelle estimée : 6 000 kWh (1 kWc = 1 000 kWh)
- Vente du surplus : tarif de 0,10 € /kWh
- **Réduction de la facture de 20 à 30 % en moyenne**

Avec l'augmentation du coût de l'électricité, l'autoconsommation avec vente en surplus devient une solution de plus en plus rentable contrairement à la vente totale. C'est la SOLUTION A PRIVILEGIER aujourd'hui !

ATTENTION, l'objectif étant de tendre vers un "effacement" de sa consommation sur le réseau, cela oblige par exemple à "optimiser" sa consommation d'électricité pour la faire correspondre à sa production, ce qui impose de changer ses habitudes de consommation : consommation de l'énergie en journée, plutôt que la nuit !

DM EAU
PA de la Chauvelière
35 150 JANZE
www.dmeau.fr

DM EAU

SOLAIRE **THERMIQUE**

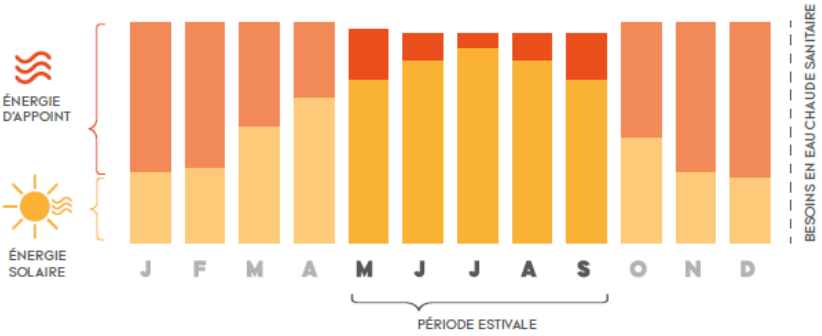
Le solaire thermique
Fiche n°3

Principe

Le solaire thermique est un dispositif solaire qui convertit le rayonnement du soleil en chaleur pour produire de l'eau chaude.

- Les panneaux solaires thermiques sont le plus couramment destinés à produire de l'eau chaude sanitaire. On parle alors de **chauffe-eau solaire individuel (CESI).**
- Ils peuvent également participer au chauffage (voire à la climatisation) de votre logement, on les appelle alors des **systèmes solaires combinés (SSC).**

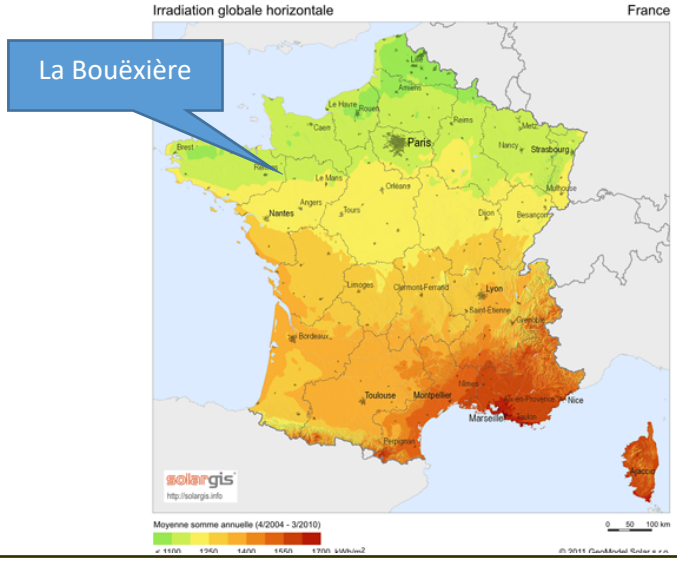
Chauffe-eau solaire individuel (CESI)



Systèmes solaires combinés (SSC)

Situation de La Bouëxière

À La Bouëxière, l'énergie reçue est environ de 1100kWh/m²/an, pour une irradiation horizontale. En estimant que le rendement énergétique d'un capteur solaire thermique est de 35 %, en moyenne un panneau solaire thermique produira 385 kWh/m²/an. **La commune présente donc un potentiel intéressant pour envisager la pose de panneaux solaires thermiques**.



DM EAU
PA de la Chauvelière
35 150 JANZE
www.dmeau.fr

Simulation

Prenons l'exemple d'une famille de 3-4 personnes (2 adultes et 1 ou 2 enfants) qui construit une maison individuelle de 110 m² de surface de plancher au sein du lotissement et qui souhaite installer des panneaux solaires thermiques sur la toiture afin de capter l'énergie solaire pour couvrir une partie des besoins en eau chaude sanitaire.

Cas n°1 – Chauffe-eau solaire individuel (CESI).

Caractéristiques
- 4 m² de capteurs solaires (2 panneaux solaires)
- Ballon de stockage de 300 L équipé d'un dispositif d'appoint qui prend le relais en cas de besoin (hiver, demi-saison)

Coûts :
- Cout de l'installation : 6 000 € tout compris
- Aides :
  - Prime forfaitaire pour les ménages modestes ou crédit d'impôt forfaitaire pour les autres ménages
  - TVA réduite
  - Prime Energie
- Coût de l'opération = 5000 € environ

Rentabilité :
- Production de 1540 kWh/an, avec :
  - Une ressource solaire de 1100 kWh/m²/an
  - Un Rendement énergétique d'un capteur solaire thermique : 35 %, soit un productible équivalent à 1100 x 0,35 = 385 kWh/an/m2
- Soit 61 % de la consommation annuelle (2500 kWh/an)
- Avec un coût de kWh électrique estimé à 0,16 €/kWh, cela conduit à une économie financière annuelle de 247 euros/an, soit quasiment 20 % de la facture énergétique annuelle pour une maison.
- La rentabilité et le temps de retour est donc de : 5000 / 247 = 20 ans.

Cas n°2 – systèmes solaires combinés (SSC)

Caractéristiques
- 15 m² de capteurs solaires (8 panneaux solaires)
- Ballon de stockage de 300 L équipé d'un dispositif d'appoint qui prend le relais en cas de besoin (hiver, demi-saison)

Coûts :
- Cout de l'installation : 14 000 € tout compris
- Aides :
  - Prime forfaitaire pour les ménages modestes ou crédit d'impôt forfaitaire pour les autres ménages
  - TVA réduite
  - Prime Energie
- Coût de l'opération = 12 000 € environ

Rentabilité :
- Production de 4235 kWh/an, avec :
  - Une ressource solaire de 1100 kWh/m²/an
  - Un Rendement énergétique d'un capteur solaire thermique : 35 %, soit un productible équivalent à 1100 x 0,35 = 385 kWh/an/m2
- Soit 74 % de la consommation annuelle (5700 kWh/an)
- Avec un coût de kWh électrique estimé à 0,16 €/kWh, cela conduit à une économie financière annuelle de 680 euros/an, soit quasiment 50 % de la facture énergétique annuelle pour une maison.
- La rentabilité et le temps de retour est donc de : 12 000 / 680 = 17 ans.

DM EAU
PA de la Chauvelière
35 150 JANZE
www.dmeau.fr