



RAPPORT

Evaluation du potentiel en énergies renouvelables et réseaux de chaleur Phase 2

Port de Pornichet (44)

Novembre 2025

Ville de Pornichet



sce

Aménagement
& environnement

CLIENT

| | |
|----------------|--------------------|
| RAISON SOCIALE | Ville de Pornichet |
|----------------|--------------------|

SCE

| | |
|--|---|
| COORDONNÉES | 4, rue Viviani – CS26220 44262 NANTES Cedex 2 Tél. 02.51.17.82.94 - Fax 02.51.13.57.65 contact@sol3d.com |
| INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i> | Romain Piednoir Tél. 07 67 38 47 25 rpiednoir@sol3d.com Naneya Losengo naneya.losengo@sol3d.com |

RAPPORT

| | |
|--------------------|---|
| TITRE | Evaluation du potentiel en énergies renouvelables et réseaux de chaleur – Rapport Phase 2 |
| NOMBRE DE PAGES | 49 |
| NOMBRE D'ANNEXES | 0 |
| OFFRE DE RÉFÉRENCE | P2500117 – Octobre 2025 |

SIGNATAIRE

| RÉFÉRENCE | DATE | RÉVISION DU DOCUMENT | OBJET DE LA RÉVISION | RÉDACTEUR | CONTRÔLE QUALITÉ |
|-----------|------------|-------------------------|-------------------------|-----------|---------------------|
| 250860A | 21/10/2025 | V0 | - | NLO | RPI |

Sommaire

| | |
|---|----|
| 1. Objet de l'étude | 4 |
| 2. Situation du projet..... | 4 |
| 3. Descriptif du projet..... | 5 |
| 4. Bilan programmatique..... | 6 |
| 5. Définition des consommations..... | 7 |
| 5.1. Consommation en énergie primaire | 7 |
| 5.2. Répartition des consommations | 8 |
| 6. Bilan des consommations | 10 |
| 7. Etude d'opportunité de mise en place d'un réseau de chaleur..... | 11 |
| 8. Potentiel en énergies renouvelables et non renouvelables | 12 |
| 8.1. Contraintes réglementaires d'urbanisme pouvant affecter le développement de certaines EnR..... | 12 |
| 8.2. Filière hydraulique et marine | 13 |
| 8.3. Filière bois..... | 16 |
| 8.4. Le solaire..... | 18 |
| 8.5. L'éolien | 20 |
| 8.6. Filière chaleur renouvelable | 23 |
| 8.7. Filière énergie thermique de l'air | 25 |
| 8.8. Filière énergie thermique du sol | 27 |
| 8.9. Filière Gaz | 31 |
| 9. Revue des énergies renouvelables envisageables | 32 |
| 10. Energies renouvelables pour la desserte en électricité..... | 33 |
| 10.1. Consommation d'électricité..... | 33 |
| 10.2. Energie photovoltaïque | 33 |
| 11. Comparaison des solutions d'approvisionnement énergétique | 35 |
| 12. Comparatif des scénarios pour la desserte en chauffage et eau chaude sanitaire | 36 |
| 12.1. Introduction | 36 |
| 12.2. Hypothèses de calcul du coût kWh | 37 |
| 12.3. Résultats du comparatif des solutions étudiées..... | 38 |
| 13. Conclusion | 47 |

1. Objet de l'étude

Cette opération d'aménagement entre dans le cadre de l'article n°8 de la loi n°2009-967 du 3 août 2009, par le biais de l'article L. 128-4 du Code de l'Urbanisme.

Cet article mentionne que « toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L. 300-1-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération. »

Réalisée conformément aux textes réglementaires en vigueur, cette étude a pour objet de comparer la pertinence technique, environnementale et financière de plusieurs scénarios de desserte énergétique.

L'objet de ce rapport est :

- ▶ D'étudier les différentes opportunités de dessertes énergétiques utilisant des énergies renouvelables ainsi que la possibilité ou non de création ou d'extension d'un réseau de chaleur ;
- ▶ De présenter, en première approche, un comparatif technico-économique et environnemental permettant d'orienter la Maîtrise d'Ouvrage vers des solutions techniques pertinentes.

2. Situation du projet

Le projet se situe dans le département de la Loire Atlantique sur la commune de Pornichet. Ce projet du port de Pornichet comprend la rénovation et la construction de 4 lots (définis ci-dessous) composés de commerces, restaurant, zone événementielle, une capitainerie et la SNSM.

Le projet d'aménagement envisagé aujourd'hui porte sur une surface totale d'environ 30 000 m² comprenant le terre-plein existant et son extension.

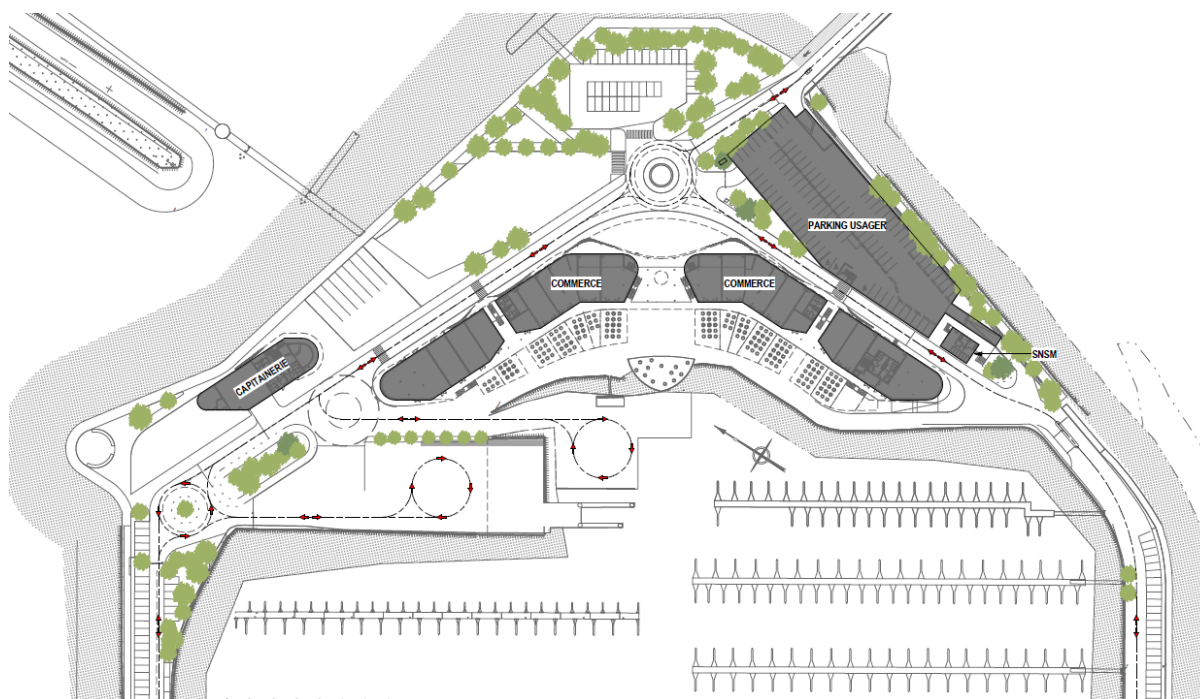


Figure 1 Localisation du projet (Source : PRO)



Figure 2 Périmètre d'aménagement (Source : PRO)

3. Descriptif du projet

Il se compose de 4 lots détaillés ci-dessous :

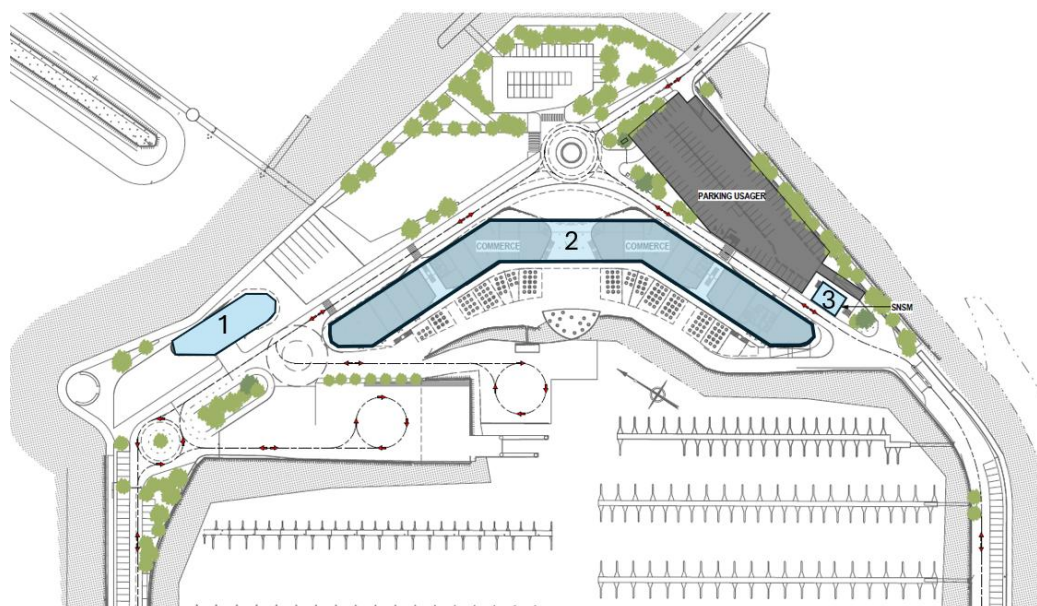


Figure 3 Schéma d'aménagement (Source : PRO)

Le lot n°4 est présent sur les digues est et ouest (non visualisable sur le plan ci-dessus).

4. Bilan programmatique

Le programme constructif définit la surface, le type de bâtiments ainsi que le phasage par lot.

Tableau 1 Bilan programmatique

| Lots | Typologie | Surface de plancher (SDP) | Phasage |
|----------------|-------------------------------|---------------------------|---------|
| 1 | Capitainerie | 477 m ² | 2028 |
| 2 | Boomerang | 4 329 m ² | 2029 |
| 3 | SNSM | 182 m ² | 2028 |
| 4 ¹ | Bâtiment annexes (sanitaires) | 263 m ² | 2029 |

Il est détaillé ci-dessous par typologie d'usage et par bâtiment :

| | Local | Surface (m ²) |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------|
| CAPITAINEURIE | Capitainerie | 263 |
| | Local stockage et technique | 184 |
| | Sanitaires | 30 |
| BOOMERANG | Magasins | 2078 |
| | Restaurants | 1474 |
| | Pole associatif | 273 |
| | Stockage asso | 122 |
| | Evènementiel | 232 |
| | Sanitaires | 68 |
| | Locaux techniques | 82 |
| SNSM | Vestiaires | 49 |
| | Tertiaire | 79 |
| | Locaux techniques | 54 |
| Bâtiments annexes | Sanitaires publics | 263 |

Figure 4 Surface par bâtiment et typologie

¹ Les bâtiments annexes sont constitués des sanitaires sur les digues est et ouest, au rez de chaussé de la capitainerie et du bâtiment principal

5. Définition des consommations

5.1. Consommation en énergie primaire

Le tableau ci-dessous présente les estimations des consommations en énergie primaire dans le cadre de la réglementation thermique en vigueur :

Tableau 2 CEP_{max} par typologie

| Nom complet de la typologie | Conso énergie primaire (kWep/m ² /an) |
|-----------------------------|--|
| Capitainerie | 98 |
| Local stockage et technique | 9 |
| Sanitaire | 16 |
| Magasins | 248 |
| Restaurants | 132 |
| Pole associatif | 98 |
| Stockage asso | 16 |
| Evènementiel | 98 |
| Vestiaires | 154 |
| Tertiaire | 98 |

5.2. Répartition des consommations

La consommation présentée précédemment englobe les 6 postes suivants :

- ▶ Chauffage ;
- ▶ Eau chaude sanitaire (ECS) ;
- ▶ Eclairage ;
- ▶ Auxiliaires de ventilation ;
- ▶ Electricité spécifique ;
- ▶ Rafraichissement.

Le tableau suivant présente les hypothèses de répartition des consommations :

Tableau 3 Ratios de consommations

| Nom complet de la typologie | Chauffage | ECS | Eclairage | Auxiliaires | Electricité spécifique | Climatisation |
|-----------------------------|-----------|-----|-----------|-------------|------------------------|---------------|
| Capitainerie | 35% | 2% | 25% | 20% | 5% | 13% |
| Local stockage et technique | 75% | 0% | 10% | 15% | 0% | 0% |
| Sanitaire | 35% | 30% | 10% | 20% | 5% | 0% |
| Magasins | 25% | 5% | 25% | 20% | 5% | 20% |
| Restaurants | 25% | 10% | 15% | 15% | 20% | 15% |
| Pole associatif | 35% | 2% | 25% | 20% | 5% | 13% |
| Stockage asso | 75% | 0% | 10% | 15% | 0% | 0% |
| Evènementiel | 35% | 2% | 25% | 20% | 5% | 13% |
| Vestiaires | 35% | 30% | 10% | 20% | 5% | 0% |
| Tertiaire | 12% | 2% | 13% | 14% | 50% | 10% |

Ainsi, les hypothèses de ratios des consommations primaires sont les suivantes :

Tableau 4 Besoins énergétiques

| Nom complet de la typologie | Chauffage | ECS | Eclairage | Auxiliaires | Electricité spécifique | Climatisation |
|-----------------------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------------------|---------------|
| Capitainerie | 34,3 | 2,0 | 24,5 | 19,6 | 4,9 | 12,7 |
| Local stockage et technique | 6,8 | 0,0 | 0,9 | 1,4 | 0,0 | 0,0 |
| Sanitaire | 5,6 | 4,8 | 1,6 | 3,2 | 0,8 | 0,0 |
| Magasins | 62,0 | 12,4 | 62,0 | 49,6 | 12,4 | 49,6 |
| Restaurants | 33,0 | 13,2 | 19,8 | 19,8 | 26,4 | 19,8 |
| Pole associatif | 34,3 | 2,0 | 24,5 | 19,6 | 4,9 | 12,7 |
| Stockage asso | 12,0 | 0,0 | 1,6 | 2,4 | 0,0 | 0,0 |
| Evènementiel | 34,3 | 2,0 | 24,5 | 19,6 | 4,9 | 12,7 |
| Vestiaires | 53,9 | 46,2 | 15,4 | 30,8 | 7,7 | 0,0 |
| Tertiaire | 11,8 | 2,0 | 12,3 | 13,2 | 49,0 | 9,8 |

6. Bilan des consommations

Sur la base des ratios de consommations et du programme constructif, les consommations du projet sont les suivantes, en MWh_{ep}/an , avec une répartition en % :

Tableau 5 Répartition consommation énergétique (MWh_{ep}/an)

| Nom complet de la typologie | Capitainerie | Boomerang | SNSM | Bâtiments annexes |
|-----------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------------|
| Chauffage | 10,4 | 197,2 | 3,9 | 1,5 |
| ECS | 0,7 | 46,5 | 2,4 | 1,3 |
| Eclairage | 6,7 | 170,9 | 1,8 | 0,4 |
| Auxiliaires | 5,5 | 142,8 | 2,6 | 0,8 |
| Electricité spécifique | 1,3 | 67,2 | 4,2 | 0,2 |
| Climatisation | 3,4 | 138,7 | 0,8 | 0,0 |
| Total | 27,9 | 763,2 | 15,8 | 4,2 |

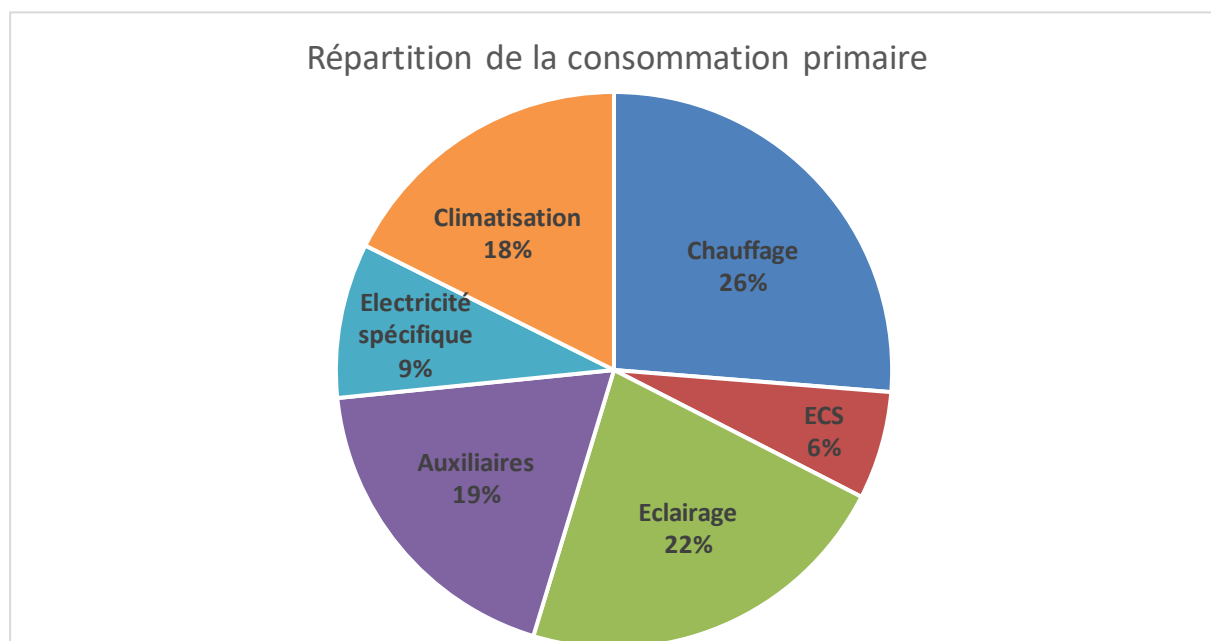


Figure 5 Répartition de la consommation énergie primaire

Les consommations thermiques relevant du chauffage et de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) représentent 265 MWh_{ep}/an .

7. Etude d'opportunité de mise en place d'un réseau de chaleur

La mise en place d'un ou plusieurs réseaux de chaleur permet de mutualiser des équipements de chauffage ou de production d'ECS. Cette mutualisation intervient principalement sur des zones à forte densité de consommateurs afin d'obtenir une cohérence économique.

Une étude des différentes possibilités de réseaux de chaleur a été réalisée. Dans ce cadre, la conception d'un réseau pour chaque lot de l'étude et les connexions entre différents lots ont été étudiées. Les résultats pour chaque lot sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Légende de la densité thermique :

| | | |
|-----------------|----------------|-----------------|
| × | ? | ✓ |
| < 1,5 MWh/ml/an | ~1,5 MWh/ml/an | > 1,5 MWh/ml/an |

Tableau 6 Opportunité de mise en place d'un réseau de chaleur

| Lot | Réseaux de chaleur Chauffage | Réseaux de chaleur ECS + Chauffage |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Boomerang | ? | ✓ |

Le boomerang constitué de 4 bâtiments adjacents serait susceptible d'accueillir un réseau de chaleur entre ces 4 bâtiments afin de centraliser les besoins de chauffage et d'ECS. Le critère de faisabilité ou non d'un réseau de chaleur est une densité thermique supérieure à 1,5 MWh/m/an.

Tableau 7 Opportunité de mise en place d'un réseau de chaleur

| Lot | Réseaux de chaleur Chauffage | Réseaux de chaleur ECS + Chauffage |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Ensemble du projet | × | × |
| Boomerang et capitainerie | × | ? |

Le seuil de 1,5 MWh/ml/an est repris de l'ADEME qui l'utilise comme seuil subventionnable pour la création ou l'extension du réseau de chaleur. **Il n'indique en aucun cas une non-faisabilité technique ou financière si l'indicateur est inférieur à 1,5.**

Le raccordement de la capitainerie sur les moyens de production de chauffage et d'ECS du boomerang pourrait être viable sous réserve de conditions VRD favorables. La préfaisabilité économique présentée ci-dessus ne présente pas les contraintes techniques pouvant fortement impacter le développement du réseau de chaleur.

Cependant, l'usage définitif des **locaux du boomerang** n'étant pas encore connu, **les futurs utilisateurs devront mettre en place une solution pour chaque local**. En effet, les besoins énergétiques pouvant varier fortement d'un usage à l'autre, **une solution centralisée conçue lors du réaménagement du port pourrait être obsolète très rapidement.**

La mise en place d'un réseau de chaleur entre les bâtiments du boomerang n'est pas envisageable.

8. Potentiel en énergies renouvelables et non renouvelables

8.1. Contraintes réglementaires d'urbanisme pouvant affecter le développement de certaines EnR

Dans l'objectif de protéger et conserver le patrimoine bâti présentant une importance particulière, différents types de protections existent en France : site patrimonial remarquable (regroupant les anciens secteurs sauvegardés, AVAP soit Aire de Mise en Valeur de l'Architecture et du Patrimoine et ZPPAUP), site classé, monument historique et site inscrit.

L'image ci-dessous est un extrait du PLUi indiquant les servitudes présentes sur le projet.

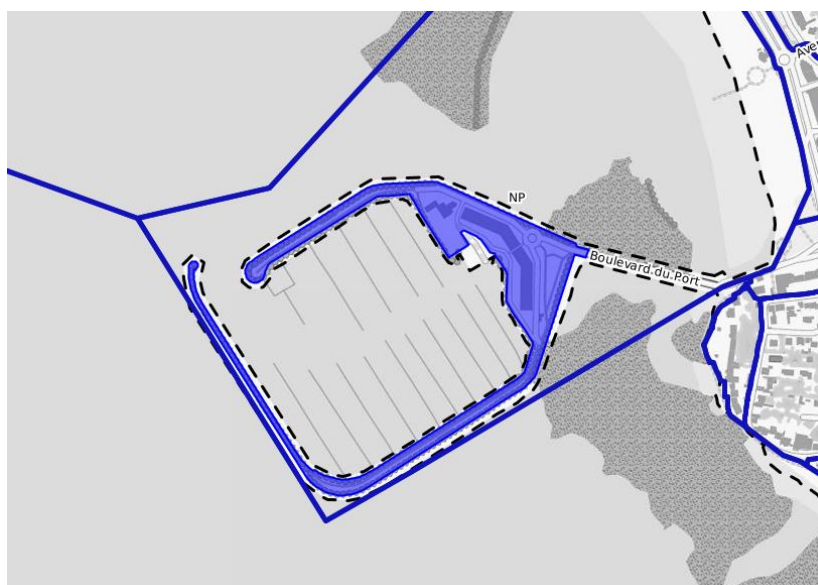


Figure 6 PLUi

La zone est concernée par les contraintes suivantes :

- ▶ Servitudes relatives aux zones de protection du patrimoine architectural (AC4) : AVAP - Front de mer
- ▶ Servitudes relatives aux transmissions radioélectriques concernant la protection contre les obstacles d'un centre d'émission et de réception (PT2)
- ▶ Servitudes relatives à la protection des sites et monuments naturels (AC2) : Site inscrit côtier
- ▶ Servitudes aéronautiques de dégagement (T5)

8.2. Filière hydraulique et marine

8.2.1. Généralité

L'énergie de l'eau permet la production d'électricité, dans les centrales hydroélectriques, grâce à la force de l'eau des rivières ou de la mer. En rivière, cette force dépend soit de la hauteur de la chute d'eau (centrales de haute ou moyenne chute), soit du débit des fleuves et des rivières (centrales au fil de l'eau). En mer, cette force dépend des courants, des marées ou de la houle. L'énergie hydraulique constitue une source d'énergie importante, non intermittente (hormis pour l'énergie de la houle), disponible sur une grande partie du territoire français.

8.2.2. Energie marémotrice

Le phénomène de marée est induit par la force gravitationnelle de la Lune et du Soleil sur les océans. L'énergie marémotrice consiste à utiliser le marnage dans des zones littorales pour produire de l'électricité. C'est-à-dire la différence de hauteur entre deux bassins séparés par un barrage, selon la marée haute et la marée basse. Le potentiel de l'énergie marémotrice dans le monde est estimé à près de 380 TWh/an, soit 1,5% à 2% de la production électrique mondiale.

On distingue deux grands types d'infrastructures marémotrices :

► **La technologie simple bassin :**

Le simple bassin consiste à barrer un bras de mer par un ouvrage capable de retenir un important volume d'eau. Le barrage délimitant le bassin est percé d'ouvertures, certaines avec de simples vannes et d'autres avec des vannes couplées à des turbines. L'exemple le plus connu est le barrage de la Rance en Bretagne qui est la 2^{ème} plus grande centrale du monde.



Figure 7 Les différents types de bassin simple (Source : connaissance en énergie)

► **La technologie double bassin :**

Le double bassin consiste à rajouter un bassin artificiel, situé plus bas que le niveau de la mer (y compris à marée basse). Ce bassin supplémentaire permet donc la production d'électricité quelle que soit la hauteur d'eau de la mer.

Le port d'échouage protégé par une digue se remplit et se vide suivant les marées. Cependant, son rôle de port d'échouage et son faible volume ne permet pas la mise en place d'une telle technologie.

8.2.3. Energie houlomotrice

La houle est une onde créée à la surface de la mer sous l'effet du vent. Certaines régions, comme l'Atlantique Nord, sont particulièrement propices à la récupération de l'énergie des vagues. En France métropolitaine, le potentiel est estimé à 40 TWh/an, principalement sur la façade atlantique (10 à 15 GW).

Les systèmes d'énergies houlomotrices actuels transforment l'énergie des vagues en énergie électrique grâce à des convertisseurs mécaniques. On distingue quatre grandes familles de technologies :

- ▶ **La colonne d'eau oscillante immergée** : Système pivotant entraîné par le mouvement de l'eau au passage des vagues. Ces oscillations permettent d'actionner des pompes pour comprimer et turbiner un fluide hydraulique.
- ▶ **La colonne à oscillation verticale** : Structure flottante mise en place à la surface de la mer et transformant tous les mouvements horizontaux ou verticaux en déplacements de masselottes. L'énergie liée aux masselottes en mouvement est utilisée pour actionner une pompe et mettre sous pression un fluide hydraulique qui permet ensuite de faire tourner une turbine entraînant à son tour un alternateur.
- ▶ **Le système à flotteurs** : Système composé d'une suite de longs flotteurs qui s'alignent dans le sens du vent perpendiculairement aux vagues et dont la tête est ancrée au fond sous-marin par un câble. Les vagues créent une oscillation de la chaîne. Cette oscillation est exploitée aux articulations pour comprimer un fluide hydraulique qui entraîne à son tour une turbine.
- ▶ **Le capteur de pression immergé** : Système ancré au fond marin qui utilise le mouvement orbital des vagues pour comprimer un fluide hydraulique. Le capteur le plus simple à utiliser est un ballon.



Figure 8 Les différentes technologies d'énergie houlomotrice (Source : connaissance en énergie)

Ces différentes technologies sont peu matures et en développements dans le monde entier. Le gisement est présenté ci-dessous :

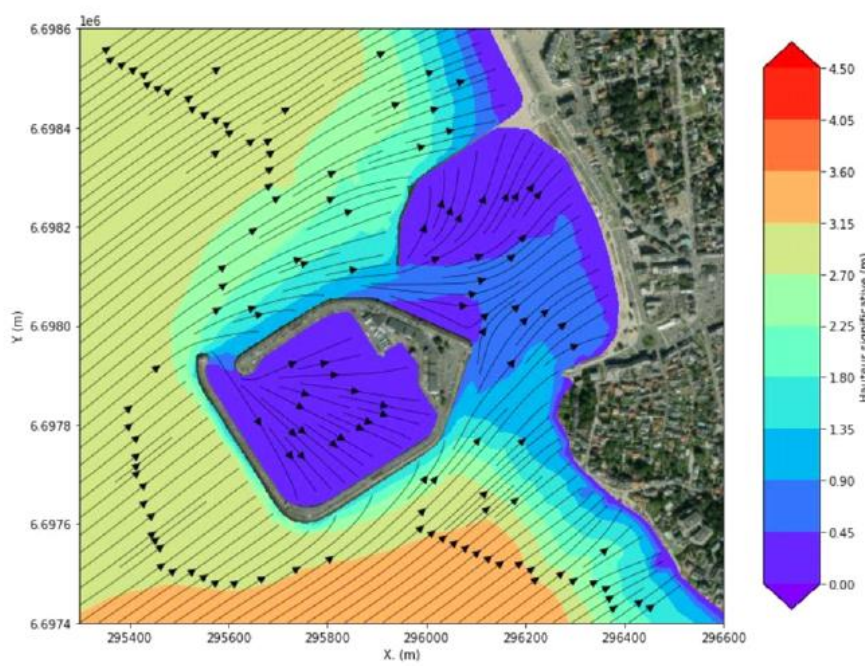


Figure 9 Propagation de la houle au niveau du port de Pornichet (scénario 10 ans niveau élevé, soucre : PRO)

Avec son positionnement avancé sur la mer, le port de Pornichet offre un terrain propice au développement de cette technologie. En effet, la façade Sud-Ouest du port est exposée perpendiculairement au sens de la houle. A cet endroit la digue a une longueur de 300 mètres permettant l'installation de plusieurs infrastructures marémotrices. La solution pourrait faire l'objet d'un scénario.

8.2.4. Energie hydraulique marine

Les hydroliennes utilisent les courants marins ou les rivières pour produire de l'électricité. En France, cette technologie est peu développée mais des projets de démonstrateurs sont tout de même mis en place comme sur l'île de Ouessant avec la turbine de Sabellia (cf figure ci-dessous).



Figure 10 Hydrolienne sous-marine (Source : Sabellia)

Il existe trois types d'hydroliennes :

- ▶ Sous-marine : hélice disposée dans les fonds marin
- ▶ À flots : capte le courant marin en flottaison
- ▶ Semi-immersée : utilisée pour les rivières

La solution n'est pas pertinente en eau peu profonde à proximité de la côte.

8.3. Filière bois

Au niveau écologique, le chauffage biomasse est une opération neutre car le bilan carbone est nul. En effet, la quantité de CO₂ dégagée lors de la combustion du bois est comparable à celle produite naturellement lors de sa décomposition. Cette quantité de CO₂ correspond à celle qui a été extraite de l'air pour la photosynthèse au cours de la croissance de l'arbre. Un équilibre est ainsi obtenu. Le bilan théorique sur le CO₂ produit est donc neutre. De plus, selon l'ADEME, lors de sa combustion, le bois émet 11 fois moins de dioxyde de carbone que le fioul, 4 fois moins que l'électricité et 5 fois moins que le gaz. En revanche, l'utilisation du bois énergie doit se faire dans de bonnes conditions environnementales.

Au niveau de la ressource, bien exploiter la forêt contribue à sa bonne santé et à sa pérennité, une forêt non exploitée perdant de sa valeur marchande. En effet, la valorisation énergétique des déchets forestiers permet d'améliorer l'état sanitaire des forêts. En collectant les rémanents, la valorisation énergétique des déchets forestiers :

- ▶ Evite le développement et la propagation des parasites et des maladies ;
- ▶ Facilite les replantations ;
- ▶ Encourage les travaux sylvicoles tels que le dépressage ou les éclaircies.

L'utilisation du bois énergie permet également de valoriser les sous-produits et déchets de la filière « bois » en combustible. En effet, les entreprises du bois produisent, lors de la transformation du bois, une part importante de sous-produits et de déchets utilisables comme combustible.

Le combustible bois peut aussi provenir des bois de rebut collectés par les sociétés du déchet : une chaufferie bois peut alors valoriser ces déchets industriels banals s'ils ne contiennent pas de traitement.

Enfin, l'énergie bois est une ressource indépendante des crises énergétiques mondiales et de l'évolution globale du prix des énergies telles que le gaz et l'électricité.

Il existe 4 grandes sources d'approvisionnement en bois énergie :

- ▶ La ressource forestière issue de l'entretien des bois et massifs (forêts, parcs et jardins) ;
- ▶ Les produits connexes des industries du bois ;
- ▶ Les déchets de bois urbains non traités (emballages légers usagés, caisses) ;
- ▶ Bois de bords de route (linéaires des bords de route, élagage urbain).

| Filière d'approvisionnement | Produits connexes pouvant servir de combustible |
|--|--|
| Exploitation forestière | Sciures, copeaux, écorces, plaquettes, chutes diverses |
| Industries de la première transformation (Sciage, déroulage, tranchage) | Écorces, sciures, plaquettes, chutes diverses |
| Industries de la seconde transformation (Transformations pour usage direct : meuble par ex.) | Écorces, sciures, plaquettes, chutes diverses |
| Bois de rebut | Plaquettes |

NOTA : Seuls les bois n'ayant subi aucun traitement doivent être brûlés, une attention particulière doit donc être apportée au bois de récupération qui est susceptible d'avoir subi un traitement chimique (introduction de colle, vernis, peintures, etc....) qui peut engendrer lors de la combustion des dégagements toxiques, des encrassements importants des appareils et des rejets indésirables dans les cendres (métaux lourds par exemple avec les peintures).

En Pays de la Loire, la surface forestière est implantée sur environ 3 238 ha (selon l'IFN), ce qui représente un taux de boisement de 12%.

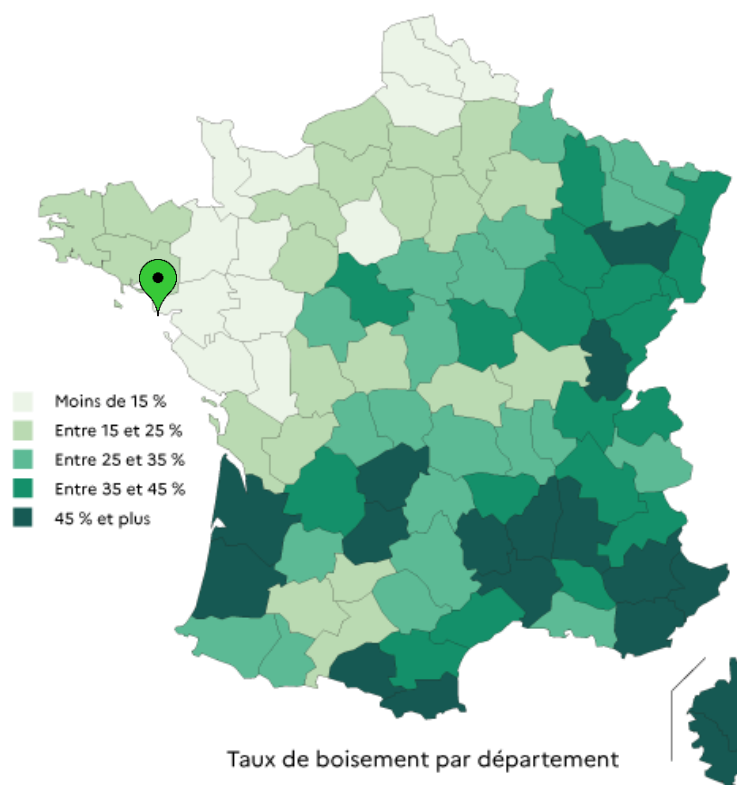


Figure 11 Taux de boisement par département en 2020 (Source : IFN)

Par ailleurs, le potentiel de bois énergie exploitable augmente (BIBE-P) et continuera d'augmenter ces prochaines années, ce qui en fait une ressource abondante au niveau national. Cependant, le territoire du projet étant peu boisé, le périmètre d'approvisionnement pourrait être important.

La mise en place de chaufferies bois n'est pas envisageable et ne sera pas étudiée en raison de la disponibilité foncière insuffisante.

8.4. Le solaire

8.4.1. Généralités

A l'échelle de la France métropolitaine, le productible moyen varie de 800 kWh/kWc dans le Nord à près de 1 400 kWh/kWc dans le Sud.

Le gisement solaire exploitable sur le territoire régional est globalement plus élevé que la moyenne française.

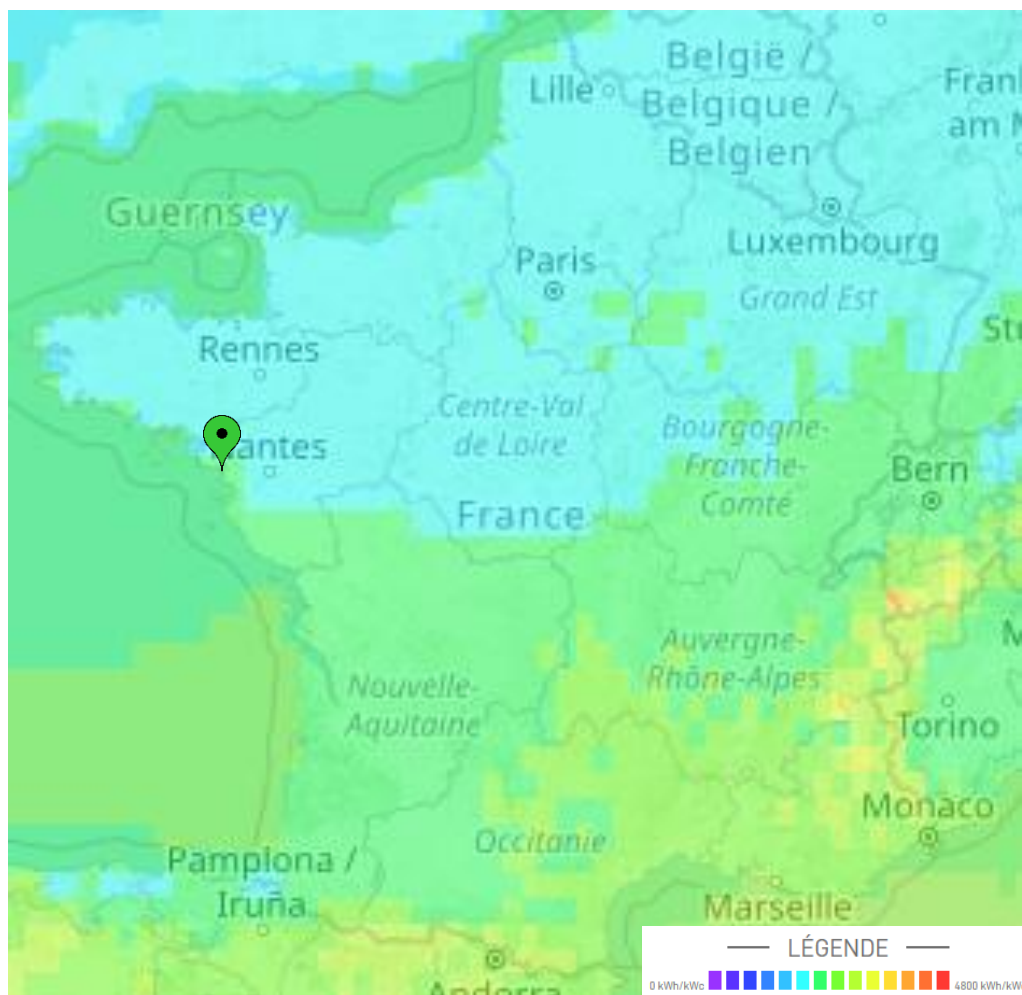


Figure 12 Cartographie du productible photovoltaïque en France (kWh/m².an) (Source : photovoltaïque.info)

La production photovoltaïque sur le territoire est estimée à 1 280 kWh/kWc/an installées soit au-dessus de la moyenne Française.

8.4.2. Solaire photovoltaïque

Au 31 mars 2025, la région Pays de la Loire disposait d'une puissance totale raccordée au réseau électrique de 1 785 MW : ceci représente 7% de la puissance totale installée en France. Le parc photovoltaïque national a connu une augmentation de production de 39% sur le premier trimestre de l'année 2025 avec 5,4 TWh produit.

Les panneaux solaires photovoltaïques transforment l'énergie solaire, une énergie inépuisable et naturellement disponible, en électricité par le biais de cellules photovoltaïques. Chacune de ces cellules photovoltaïques délivre une tension de 0,5 à 0,6V. Le courant continu produit par ces panneaux est transformé par l'onduleur en courant alternatif compatible avec le réseau électrique.

La distinction entre autoconsommation et injection totale vers le réseau de distribution n'impacte pas le potentiel de production. Par ailleurs, la ressource est étudiée pour des installations en toiture, l'installation au sol étant inadéquate sur nos sites.

Le site étant inscrit au patrimoine remarquable, une autorisation d'implantation devra être donnée. De plus, les conditions climatiques extérieures défavorables (présence d'eau de mer avec les embruns) impacteront la durée de vie des panneaux.

Cette solution est envisageable mais présente des difficultés dans la mise en œuvre.

8.4.3. Solaire thermique

Le principe du solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire en chaleur à l'aide d'un absorbeur. Un absorbeur est un corps noir possédant des propriétés d'absorption très élevées et d'émissivité très basses. La chaleur est transférée par l'absorbeur à un fluide caloporteur, qui circule au travers de chacun des capteurs. Le fluide caloporteur achemine ainsi l'énergie solaire vers le ballon de stockage à travers un échangeur.

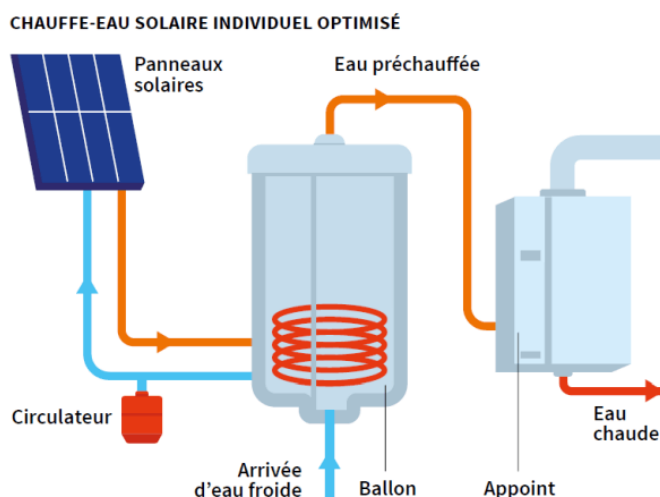


Figure 13 Schéma de fonctionnement d'un capteur solaire thermique (Source : ADEME)

Le potentiel de développement du solaire thermique est étudié dans le cas de **Chauffe-Eaux Solaires Individuels (CESI) et Collectifs (CESC)**.

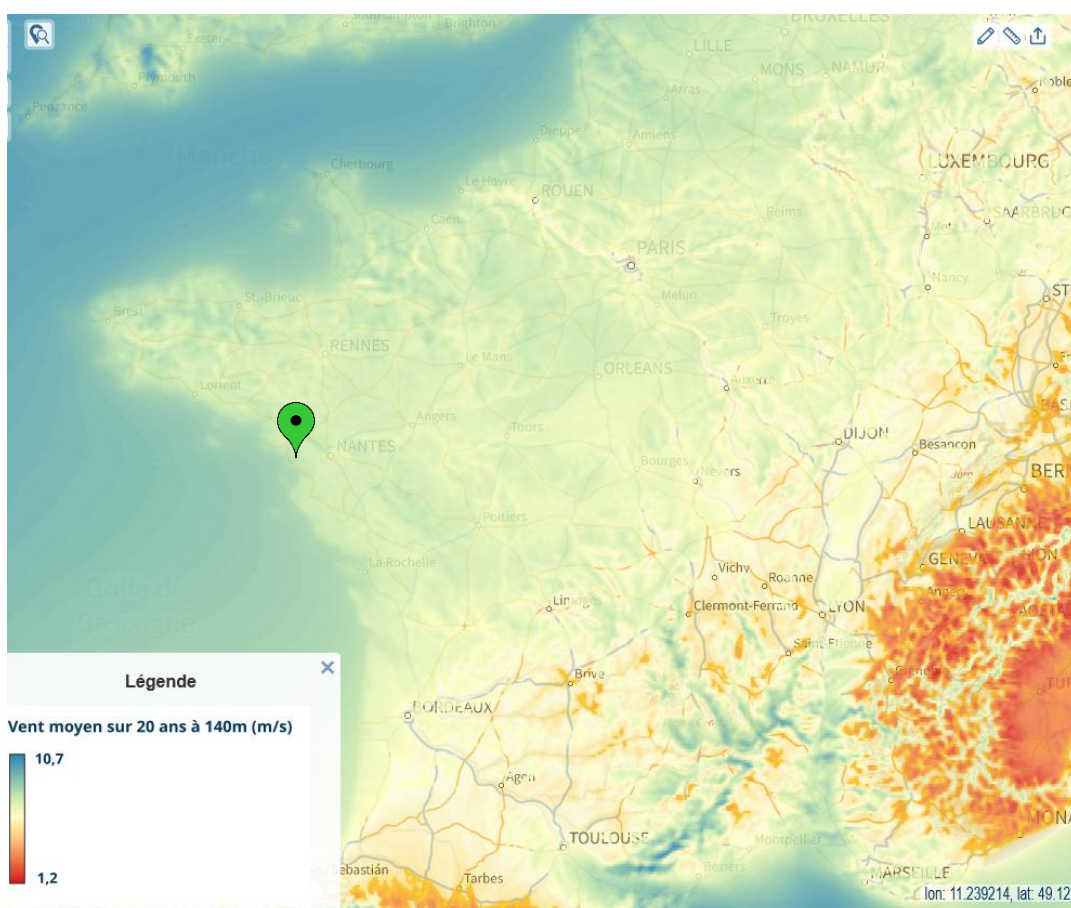
L'utilisation de panneaux solaires thermiques est pertinente sur les bâtiments munis de sanitaire avec des douches en raison des besoins en eau chaude avec une saisonnalité marquée en été. Une attention particulière devra être prise sur la zone d'implantation pour limiter les impacts des conditions extérieures défavorables (présence d'eau de mer avec les embruns).

Cette solution n'est donc pas retenue.

8.5. L'éolien

8.5.1. Le grand éolien

A l'échelle nationale, les régions Grand-Est et Haut-de-France concentrent à elles seules près de la moitié de la production électrique éolienne. L'ensemble du parc éolien en France concentre 23,3 GW de puissance installée au 31 mars 2025, ce qui représente une production électrique de 13,6 TWh/an (10,3 % de la consommation nationale). Ces dernières années, l'éolien offshore est en plein développement et permet une croissance importante de la filière avec 1,5 GW de puissance installée au 31 mars 2025.



Au 31 mars 2025, la région Pays de la Loire disposait d'une puissance totale raccordée au réseau électrique de 1 897 MW : ceci représente 8% de la puissance totale installée en France.

Située en zone urbanisée, la technologie Grand éolien ne pourra être envisagée sur le projet, ceci du fait de la contrainte réglementaire interdisant le développement de cette technologie à moins de 500 mètres des habitations.

Cette solution n'est donc pas retenue.

8.5.2. Le petit éolien

Le petit éolien permet une implantation plus simple, grâce à des contraintes réglementaires et techniques moins importantes que le grand éolien. Cette technologie offre différentes possibilités de fixation, comme la mise en place sur le toit d'un bâtiment ou sur un mât de moindre hauteur que le grand éolien.

Dans le cadre du projet, le principe de fixation sur bâtiment est préférable pour ne pas être contraint par la servitude limitant la hauteur des constructions (PT2 et T5). Ci-dessous, une présentation de l'écoulement d'air autour d'un immeuble permet de visualiser l'intérêt d'utiliser le toit des bâtiments pour l'implantation.

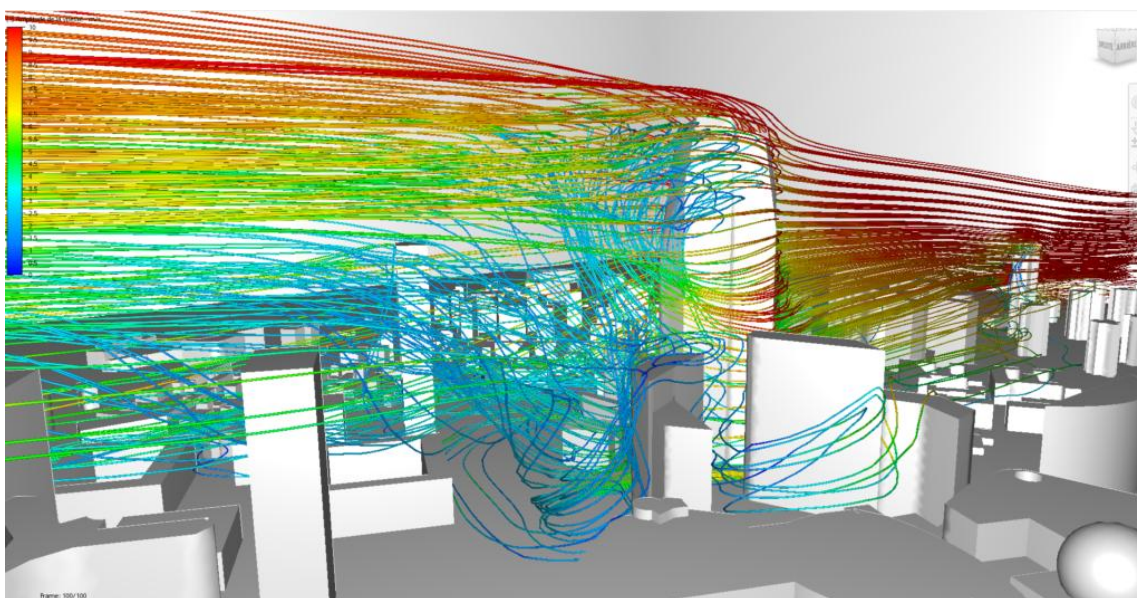


Figure 15 Exemple écoulement de l'air autour d'un bâtiment (Source : Inex)

On peut observer une augmentation de la vitesse du vent sur le toit du bâtiment. L'efficacité de ces systèmes est fortement dépendante de l'aménagement proche telles que l'urbanisation ou la présence d'arbres venant perturber l'écoulement de l'air. Sur l'image ci-dessus, l'écoulement d'air n'est pas perturbé en amont du bâtiment. Une étude spécifique à chaque projet est donc nécessaire afin de déterminer le potentiel du petit éolien.

De plus, ces installations peuvent avoir des impacts sur la structure des bâtiments s'ils sont installés sur les toits avec de possibles vibrations à prendre en compte.

Ci-dessous est présenté le gisement des vents à 10 mètres d'altitude :

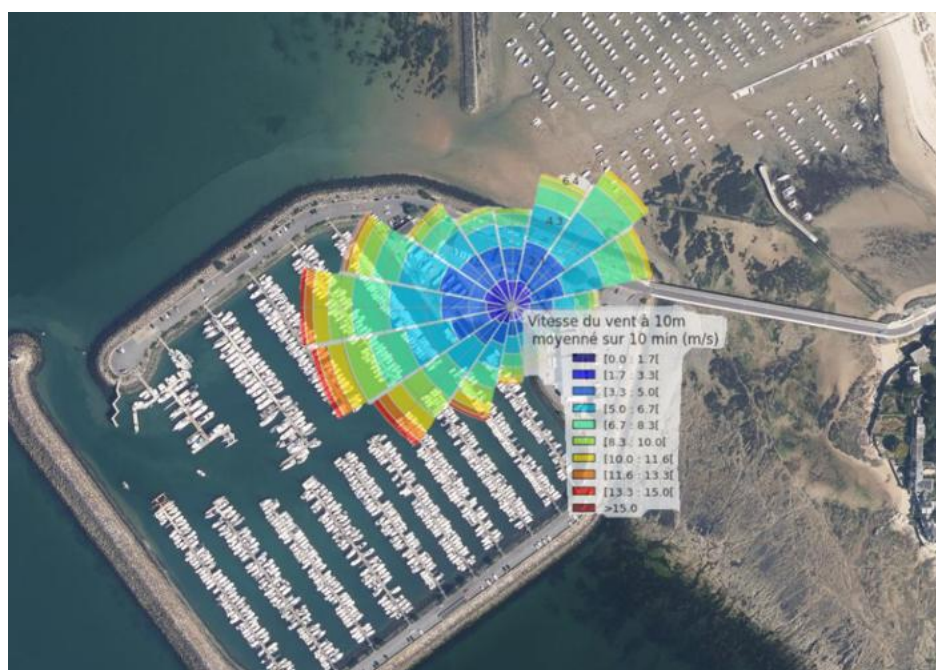


Figure 16 Rose des vents réalisée à partir des données de vent extraites du modèle Homere au point d'extraction entre janvier 1994 et avril 2020 – Document CREOCEAN (source : PRO et géoportail)

Dans le cadre du projet, cette technologie est retenue en raison du fort gisement observé à 10 mètres. Des études spécifiques au cas par cas permettront l'implantation de petit éolien pour maximiser la production électrique.

L'intégration de ce type d'installations sur le projet est pertinente et pourrait faire l'objet d'une mise en place au cas par cas.

8.6. Filière chaleur renouvelable

En France, la chaleur renouvelable est accessible en partie grâce à des réseaux de chaleur généralement implantés en zone urbaine. Un réseau de chaleur est un système de distribution de chaleur produite de façon centralisée. Il permet donc de desservir plusieurs sites. Il peut comprendre une ou plusieurs unité(s) de production de chaleur. La chaleur peut être générée à partir de diverses sources d'énergies telles que les énergies conventionnelles, les énergies renouvelables ou les énergies de récupération.

8.6.1. Extension d'un réseau de chaleur existant

La carte d'implantation des réseaux de chaleur urbains (RCU) est la suivante :

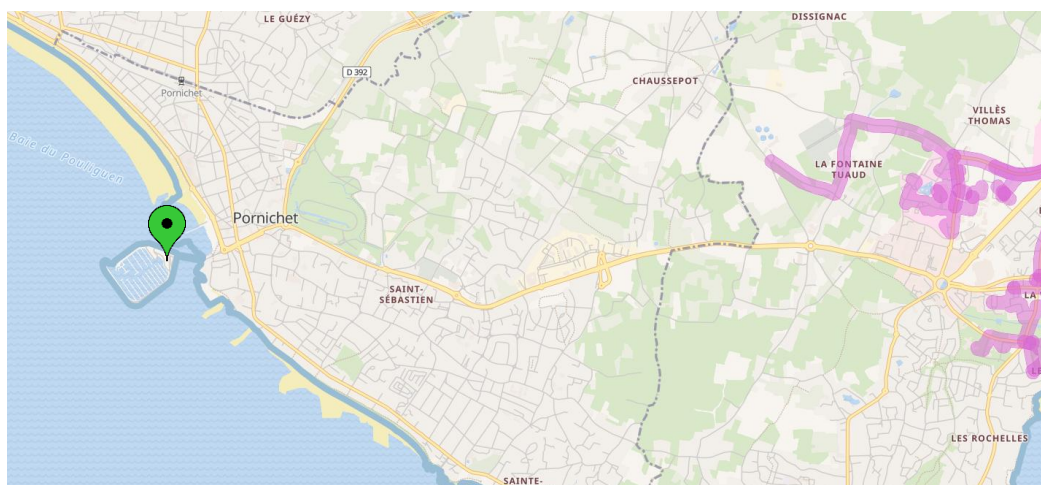


Figure 17 Implantation du projet de réseau de chaleur de Saint Nazaire (Source : France Chaleur renouvelable)

Un projet de réseau de chaleur sur la ville de Saint Nazaire est en cours de construction mais il sera situé à 4,5 km du projet. Cette distance ne permet pas une viabilité économique de l'extension du réseau existant.

8.6.2. Energies de récupération ou énergies fatales

Aucune installation présentant un gisement de chaleur fatale est située à proximité du projet.

8.6.3. Mutualisation des besoins de chaleur locaux

La zone proche du projet ne possédant pas de réseau de chaleur, une revue des gros consommateurs d'énergie thermique a été réalisée avec le logiciel « France Chaleur Renouvelable ». La mutualisation des besoins thermiques avec des bâtiments adjacents permettrait une diminution de l'investissement, des frais de maintenance et la possibilité de développer une solution bas carbone accessible à un grand nombre d'utilisateurs. La carte ci-dessous présente les principaux consommateurs de chaleur proches du projet :

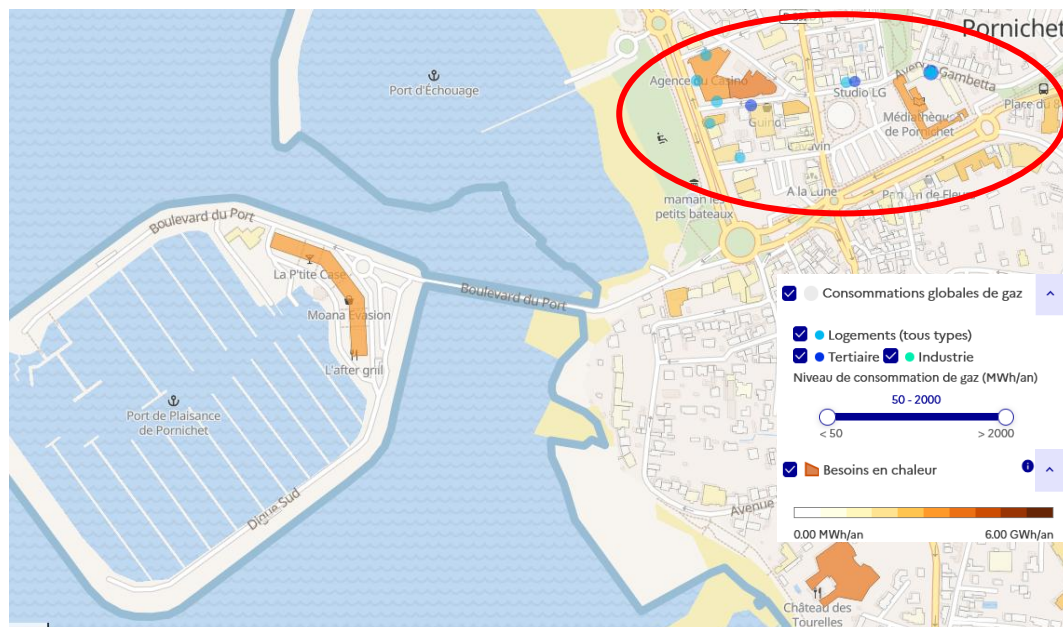


Figure 18 Potentiel de développement d'un réseau de chaleur (Source : France Chaleur Renouvelable)

La zone entourée en rouge pourrait être intéressante pour le développement d'un réseau de chaleur avec une densité des besoins thermiques importante (consommation de gaz > 1,31 GWh/an).

Cependant, ces consommateurs étant situés à 600 mètres du projet, cette distance ne permet pas une viabilité économique d'une mutualisation des besoins thermiques.

8.6.4. Création d'un réseau de chaleur existant propre au projet

Comme indiqué au paragraphe 7 du présent document, la mise en place de réseaux de chaleur semblerait économiquement viable sur les 4 bâtiments du boomerang.

Cependant, l'usage définitif des locaux du boomerang n'étant pas encore connu, les futurs utilisateurs devront mettre en place une solution pour chaque local. En effet, les besoins énergétiques pouvant varier fortement d'un usage à l'autre, une solution centralisée conçue lors du réaménagement du port pourrait être obsolète très rapidement.

La solution du raccordement des 4 bâtiments du boomerang n'est pas retenue dans la présente étude.

8.7. Filière énergie thermique de l'air

8.7.1. Généralités

Une pompe à chaleur permet de produire du chaud ou du froid grâce à la combinaison d'un moteur électrique ainsi que l'utilisation de l'énergie présente en extérieur. Le réel avantage est l'utilisation de cette énergie extérieure gratuite.

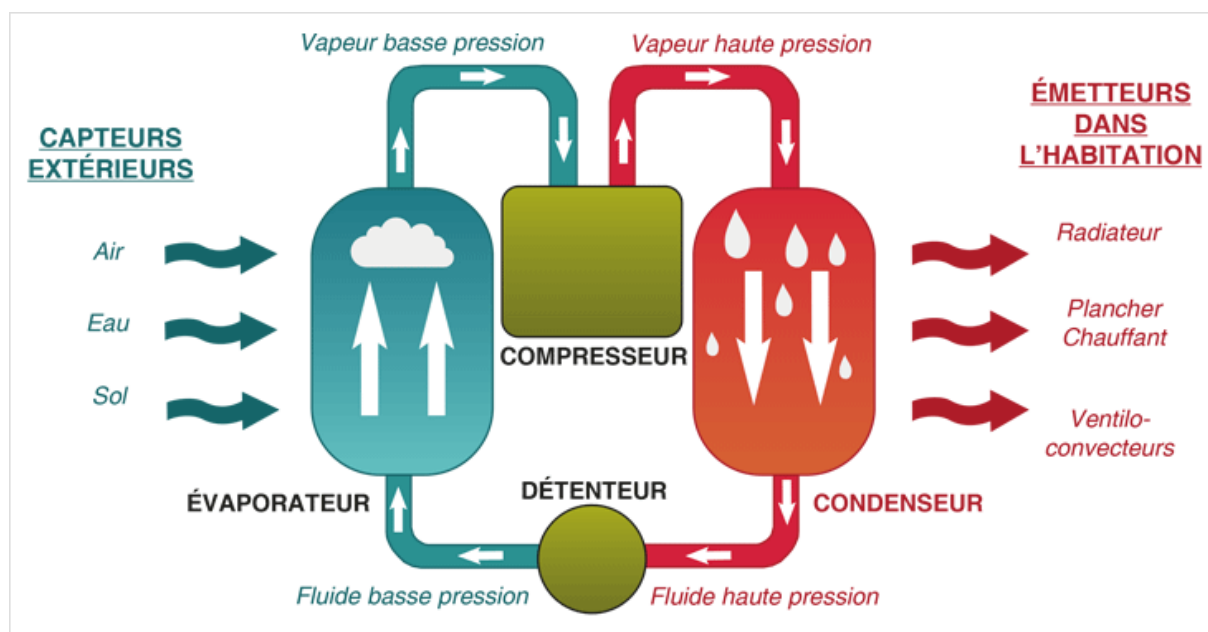


Figure 19 Schéma du principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur électrique (Source : FT Media)

Théoriquement, pour 1 kWh d'électricité consommé, la pompe à chaleur restitue de 2 à 5 kWh de chaleur ou 2 à 7 kW de froid en fonction du Coefficient de Performance (COP) de chaque modèle. Le COP d'une pompe à chaleur diminue plus l'écart entre la température demandée et la température de la source extérieure est grand. Cela s'illustre parfaitement en période hivernale quand la température extérieure est très froide avec un écart important avec la consigne de chauffage. Dans ce cas, la performance de la PAC se dégradera. En été, pour les besoins de froid, il va se produire le même inconvénient lors des pics de chaleur. Inversement, moins l'écart de température est grand, meilleur sera le COP.

Une pompe à chaleur électrique peut être implantée quasiment partout dès lors qu'un accès à l'électricité est possible, ce qui est notre cas. Ce type de système a ses limites dans les zones où la température extérieure en hiver est très faible sur des périodes continues et longues. Ci-dessous sont présentées les différentes technologies de pompes à chaleur.

8.7.2. Pompe à chaleur air/air

La pompe à chaleur air/air utilise l'énergie de l'air ambiant pour chauffer l'air intérieur à l'aide d'un ventilateur.

L'avantage premier de ce modèle est la possibilité d'inverser le cycle de fonctionnement pour produire du froid en été. En effet, avec la présence d'un ventilateur pour diffuser l'énergie à l'intérieur du bâtiment, l'utilisation du chaud ou du froid est facilitée.

Les inconvénients peuvent être la création du réseau à l'intérieur du bâtiment pour relier l'extérieur et le ou les ventilateur(s) intérieur(s), mais aussi la faible efficacité lors de pics de chaleur ou de froid (comme expliqué en introduction de la partie).

La solution n'est pas retenue en raison du faible besoin de climatisation.

8.7.3. Pompe à chaleur air/eau

La pompe à chaleur air/eau permet de chauffer ou refroidir de l'eau grâce à l'énergie présente dans l'air extérieur. La ressource étudiée ici concerne la mise en œuvre de pompes à chaleur air/eau électriques dites de « très basse énergie ». Cette technologie consiste à avoir une température de consigne dans les bâtiments ayant le plus faible écart avec l'extérieur. Comme expliqué en introduction, moins l'écart de température entre l'air extérieur et la consigne est grand, meilleur sera le COP et donc l'efficacité.

Cette technologie impose donc l'usage de systèmes de chauffage ou de climatisation à faible écart de température comme le plancher chauffant ou rafraichissant.

Concernant l'utilisation de l'air extérieur, l'usage de cette pompe à chaleur sera peut efficace lors des pics de chaleur ou de froid.

La solution est pertinente et sera étudiée.

8.7.4. Ballon thermodynamique

La pompe à chaleur air/eau permet aussi de produire de l'eau chaude sanitaire. Un ballon thermodynamique à l'avantage principal d'utiliser une PAC qui permet de produire entre 3 et 5 fois plus de chaleur que la consommation électrique. La PAC est combinée à une résistance électrique. La résistance électrique d'appoint permet d'avoir une qualité de service en ECS indépendant de la température extérieure lors des pics de froid durant l'hiver. Ce système permet une réduction de l'ordre de 70% de l'énergie consommé par rapport à un ballon électrique classique.

Il existe 2 types de ballons thermodynamiques, l'un utilisant l'air ambiant du local et l'autre utilisant l'air extérieur pour la PAC. Il peut donc facilement s'adapter au bâtiment existant ou neuf. La taille du ballon peut varier afin de s'adapter aux usages et convenir pour une application en logement individuel ou collectif mais aussi dans un bâtiment tertiaire.

La solution est pertinente.

8.8. Filière énergie thermique du sol

La géothermie est une énergie locale, basée sur la récupération de la chaleur de la terre qu'elle soit aquifère ou non. Grâce à la différence de température entre le sol et l'air, on peut chauffer ou refroidir un bâtiment. En effet, le sol aux environs proche de la surface (jusqu'à 10 mètres de profondeur) possède une température moyenne proche de celle de l'air (environ 15°C en France). Plus la profondeur est importante, plus la température du sol sera élevée. Il existe plusieurs technologies suivant la nature du sol qui sont envisageables selon la température de la ressource.

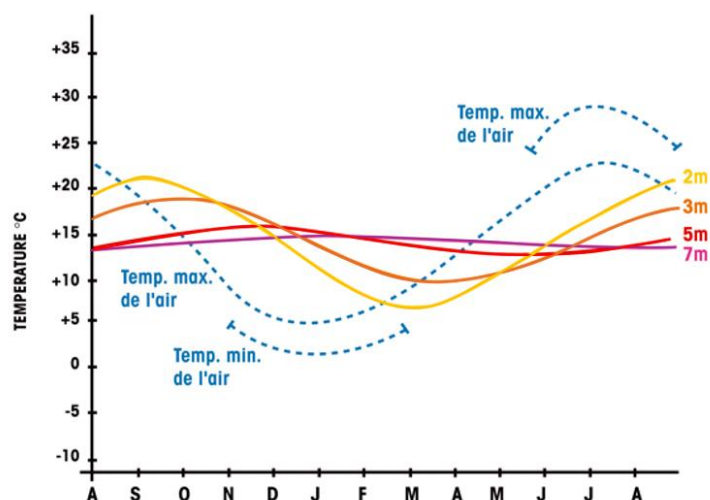


Figure 20 : Profil des températures du sol (source : S3D)

On distingue généralement :

- ▶ La géothermie **très basse énergie** (température inférieure à 30°C) : elle exploite la chaleur du sol ou de l'eau du sous-sol à de faibles profondeurs, généralement comprises entre 0 et 100 mètres ;
- ▶ La géothermie **basse et moyenne énergie** (température comprise entre 30 et 90°C et entre 90°C et 150°C) : elle exploite la chaleur contenue dans le sous-sol jusqu'à 2 000 mètres de profondeur (géothermie profonde) ;
- ▶ La géothermie **haute énergie** (température supérieure à 150°C) : elle exploite la chaleur contenue dans le sous-sol jusqu'à 10 000 mètres de profondeur. Actuellement, le seul site français se trouve en Guadeloupe (centrale électrique de Bouillante).

Dans le cadre de cette étude, **seules la géothermie très basse énergie et basse énergie seront étudiées**, la géothermie haute énergie étant utilisée pour de grandes productions d'électricité.

Un réseau de chaleur géothermique peut par ailleurs servir de réseau de froid, en prélevant de la chaleur dans les bâtiments en été et en la stockant dans le sous-sol, afin de l'utiliser en hiver.

Il existe différentes techniques d'exploitation, suivant le type d'usage (industriel, logements individuels, collectifs, lotissements, ensemble de bâtiments...) :

- ▶ Les sondes verticales : une sonde verticale, constituée d'un échangeur et contenant un fluide caloporteur est descendu dans un forage scellé, la longueur et le nombre de sondes dépendra des besoins ;
- ▶ Les champs de sondes : plusieurs sondes verticales sont disposées jusqu'à 200 mètres de profondeur et espacées entre elles d'une dizaine de mètres - une surface de terrain importante est donc nécessaire ;

- ▶ L'échange avec l'eau des aquifères superficiels : les eaux souterraines sont extraites de l'aquifère pour transmettre leurs calories à la pompe à chaleur, puis restituées à l'aquifère. La pompe à chaleur alimente ensuite en chaleur les bâtiments ;
- ▶ Les pieux énergétiques : lors de la fabrication des éléments de fondations (pieux, parois moulées, dalles, semelles, ...), un système de captage de l'énergie y est intégré, ce système est constitué des tubes dans lesquels circule un fluide caloporteur ;
- ▶ Les échangeurs horizontaux : des tuyaux sont enterrés horizontalement à faible profondeur - la surface nécessaire équivaut généralement à 1 à 2 fois la surface à chauffer.
- ▶ Les sondes verticales : une sonde verticale, constituée d'un échangeur et contenant un fluide caloporteur est descendu dans un forage scellé, la longueur et le nombre de sondes dépendra des besoins.
- ▶ Les puits canadiens : l'air extérieur est aspiré par un ventilateur dans une conduite, qui est enterré horizontalement dans le sol à faible profondeur, l'air est ensuite restitué à l'intérieur de l'habitation préchauffé ou refroidi.

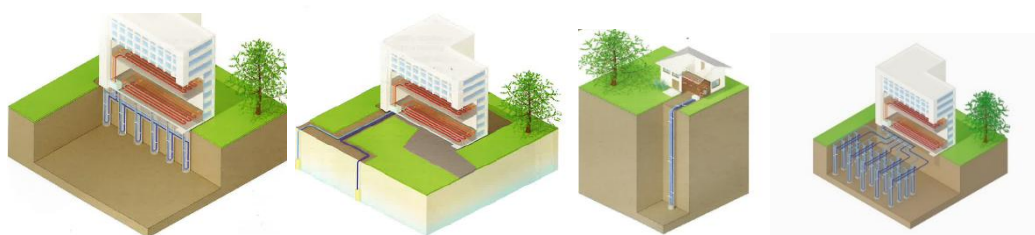


Figure 21 Techniques d'exploitation de la géothermie (Sources : BRGM, ADEME)

La plupart des technologies citées précédemment, nécessite une pompe à chaleur eau/eau pour élever la température captée dans le sol afin de l'utiliser.

Le bassin parisien constitue l'un des principaux territoires disposant de ressources géothermiques basse et moyenne énergie (entre 30°C et 90°C et entre 90°C et 150°C) sur aquifère. La géothermie très basse énergie est disponible partout, mais son exploitation par les réseaux de chaleur se limite aux petits réseaux alimentant des quartiers neufs, faiblement consommateurs de chaleur.

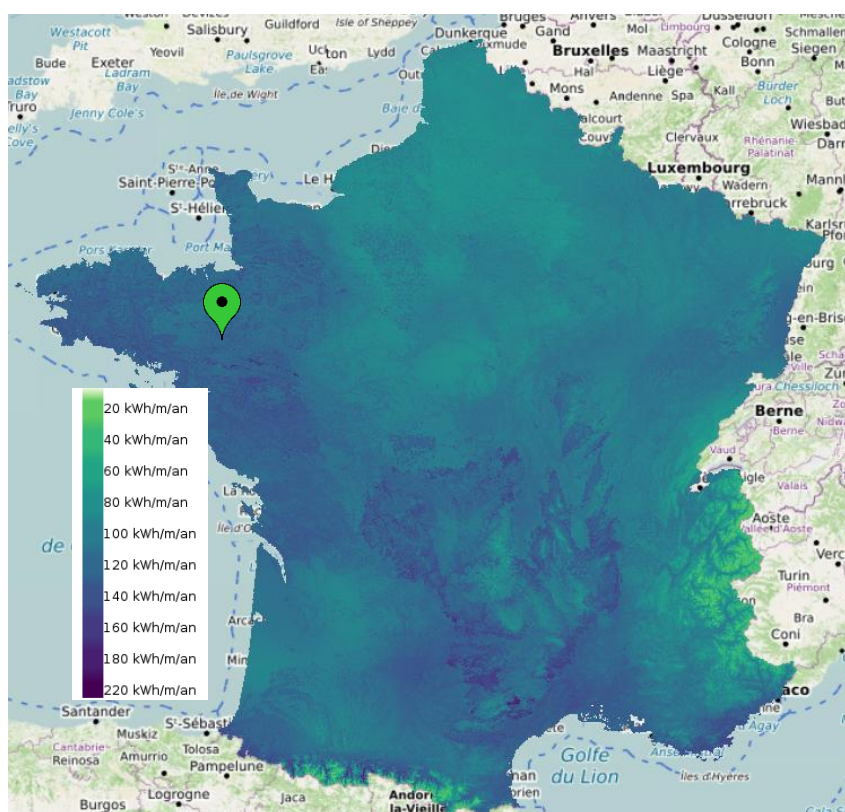


Figure 22 Carte de France du gisement de géothermie sur sondes (Source : Géothermies.fr, BRGM)

Le gisement local de géothermie sur sonde est intéressant avec une quantité d'énergie extractible annuelle de 130 kWh/m de profondeur. Dans un rayon de 2 km autour du projet, le BRGM recense un total de 25 forages de géothermie sur sonde réalisés.

Les caractéristiques de ces sites permettent d'évaluer la puissance thermique disponible :

- 100 mètres de profondeur → 5 kW
- 170 mètres de profondeur → 8 kW
- 240 mètres de profondeur → 12 kW

La géothermie sur sonde présente un potentiel intéressant mais ne sera pas étudiée en raison des difficultés technique de mise en place sur un terre plein.

Concernant la géothermie sur nappe, elle ne sera pas étudiée en raison de l'absence de gisement sur site.

Afin de connaître le potentiel précis du sol, une étude spécifique serait nécessaire. Elle permettrait de déterminer le nombre de sondes ou de forages et donc l'emprise au sol d'une telle installation, qui peut s'avérer inadaptée pour une zone entière. Du fait de la surface nécessaire, le choix de cette technologie doit être prise en amont pour valider sa mise en place technique. Les contraintes réglementaires sont également à prendre en compte.

La chaleur de l'eau de mer peut aussi être utilisée au même titre que la chaleur du sol via une pompe à chaleur. La température moyenne de l'eau de mer à Pornichet est présentée ci-dessous :

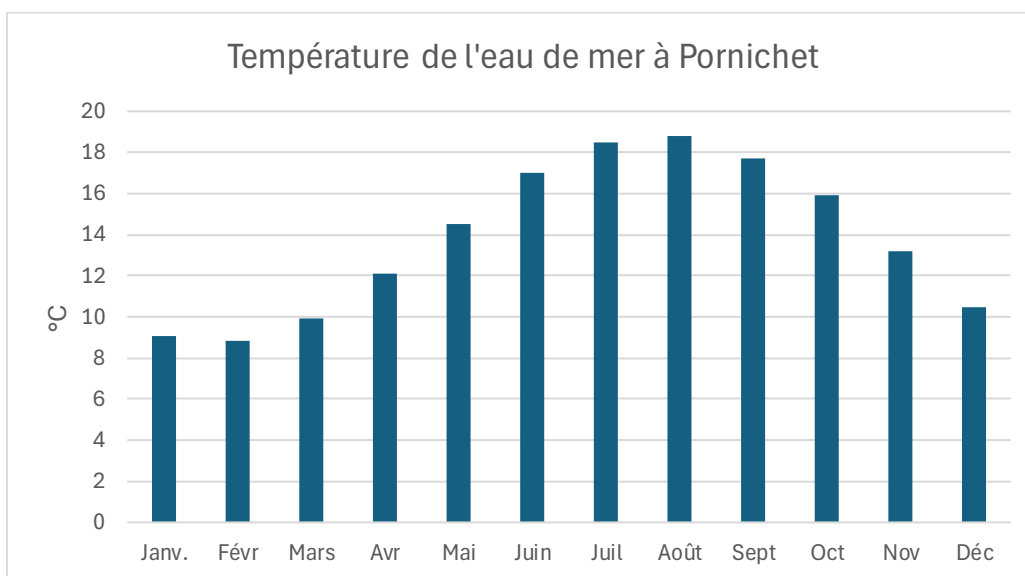


Figure 23 Température moyenne de l'eau de mer à Pornichet (Source : Seatemperature.info)

L'utilisation de l'eau de mer dans une pompe à chaleur est une solution pertinente en raison de l'emplacement des bâtiments. Cette solution est retenue et sera étudiée. Cependant, il est important de tenir compte des **inconvenients de corrosion** de cette solution avec l'utilisation d'eau de mer dans un échangeur. **La durée de vie d'un tel système est plus faible** par rapport à une solution classique de géothermie sur nappe d'après les retours d'expériences.

8.9. Filière Gaz

Le principe d'une chaudière gaz est de brûler du gaz de sorte que les fumées créées passent dans un échangeur où circule l'eau qui alimente le circuit de chauffage ou d'eau chaude sanitaire. Le gaz naturel étant une énergie fossile, il est possible de le remplacer par du biométhane produit principalement par de la méthanisation présente sur le territoire Français.

Au 31 mars 2025, la France dénombrait 753 unités de méthanisation injectant du gaz dans le réseau français. Ces unités ont une capacité d'injection de 14,3 TWh/an soit 4,0% de la consommation totale française en 2024. La filière de la méthanisation est en forte croissance avec une augmentation de 17% des volumes de gaz injectés dans le réseau français entre les premiers trimestres 2024 et 2025.

D'autres technologies permettent la production de biogaz mais sont encore en développement telles que la pyro-gazéification ou la gazéification hydrothermale.

Une chaudière gaz peut être implantée quasiment partout dès lors que l'accès au gaz est possible. Cependant, le réseau de gaz n'est pas disponible sur le port de Pornichet.

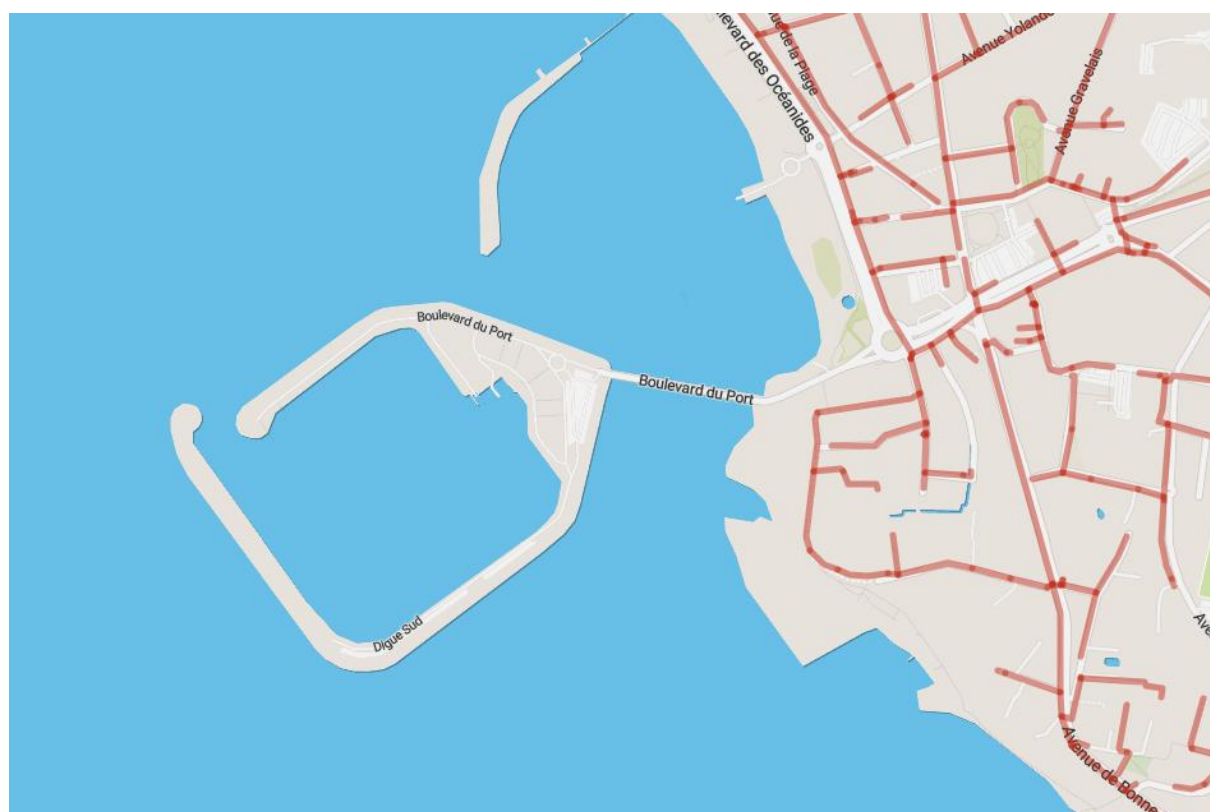


Figure 24 Réseau de distribution de gaz autour du projet (Source : GRDF)

La solution « chaudière gaz » est la plus classique et la plus facile à mettre en œuvre. Cependant, en raison de l'absence du réseau gaz et la réglementation thermique, cette solution ne sera pas étudiée.

9. Revue des énergies renouvelables envisageables

Les choix réalisés dans le cadre d'une requalification urbaine représentent un engagement sur plusieurs dizaines d'années. En matière d'énergie, les conséquences directes de ces choix sont :

- ▶ Le coût pour les usagers (niveau et stabilité) ;
- ▶ L'impact sur le climat (émissions de gaz à effet de serre) ;
- ▶ L'impact sur l'environnement (qualité de l'air, impact paysager...).

Le panel de solutions est large et chaque solution dispose de ses atouts et de ses limites. Le tableau suivant décrit en première approche les systèmes d'énergies renouvelables présentant une pertinence technique à l'échelle de l'opération.

| Energie | Technologie | Usage | Echelle de production | Possibilité d'utilisation pour le projet | Explication du choix |
|------------------------------------|---|---|---------------------------|--|--|
| Filière hydraulique et marine | Centrale marémotrice | Production électrique | Périmètre | Peu pertinent | L'utilisation de la retenue d'eau comme un port ne facilite pas la mise en place |
| | Energie houlomotrice | Production électrique | Périmètre | Pertinent | 300 mètres de digue perpendiculaire aux vagues mais technologie en développement |
| | Centrale hydraulique marine | Production électrique | Périmètre | Non pertinent | Gisement faible |
| Combustion de biomasse | Chaudière à plaquettes | Chauffage, ECS | Périmètre lot | Non pertinent | Disponibilité foncière |
| | Chaudière biomasse (granulés) | Chauffage, ECS | Bâtiment | Non pertinent | |
| Solaire photovoltaïque | Capteurs photovoltaïques | Production électrique | Bâtiment | Envisageable | Gisement intéressant mais contrainte de corrosion |
| Solaire thermique | Capteurs solaires thermiques | ECS pour logements individuels et collectifs et activité à fort besoin d'eau chaude | Bâtiment | Pertinent | Demande d'ECS avec une saisonnalité estivale mais contrainte de corrosion |
| Eolien | Petit éolien (< 12m) | Production électrique | Bâtiment | Pertinent | Gisement pertinent mais étude au cas par cas pour l'intégration sur un bâtiment |
| | Grand éolien (> 12m) | Production électrique | Investisseurs | | Impossibilité réglementaire |
| Filière chaleur renouvelable | Raccordement à un RCU existant | Chauffage, ECS | Périmètre lot Bâtiment | Non pertinent | Pas de réseau de chaleur à proximité |
| | Chaleur fatale | Chauffage, ECS | Périmètre lot Bâtiment | Non pertinent | Pas de gisement de chaleur fatale adjacent |
| | Mutualisation des besoins de chaleur locaux | Chauffage, ECS | Périmètre lot Bâtiment | Non pertinent | Distance trop importante avec les consommateurs locaux |
| | Création d'un RCU | Chauffage, ECS | Ensemble du périmètre lot | Non pertinent | Une solution par usage pour le boomerang |
| Filière énergie thermique de l'air | PAC air/air électrique | Chauffage, climatisation | Bâtiment | Non pertinent | Peu de besoin de climatisation |
| | PAC air/eau électrique basse température | Chauffage, climatisation | Périmètre Bâtiment | Pertinent | Gisement intéressant |
| | Ballon thermodynamique | ECS | Bâtiment | Pertinent | Gisement intéressant |
| Filière énergie thermique du sol | Utilisation de l'eau de mer | Chauffage, ECS, climatisation | Périmètre Bâtiment | Pertinent | Gisement intéressant mais inconvénient de corrosion |
| | Géothermie sur nappe | Chauffage, ECS, climatisation | Périmètre Bâtiment | Non pertinent | Pas de gisement intéressant |
| | Géothermie sur sondes verticales | Chauffage, ECS, climatisation | Périmètre Bâtiment | Pertinent | Gisement intéressant mais contrainte technique trop importante |
| Gaz | Chaudière gaz | Chauffage, ECS | Périmètre Bâtiment | Non pertinent | Pas de réseau de gaz sur site |

Tableau 8 Revue des énergies renouvelables

10. Energies renouvelables pour la desserte en électricité

10.1. Consommation d'électricité

Dans les constructions neuves, les consommations électriques spécifiques constituent une part importante de la consommation totale.

Afin d'analyser en première approche la consommation électrique totale du projet, nous avons pris en compte les consommations suivantes :

- ▶ L'éclairage ;
- ▶ Les auxiliaires ;
- ▶ Les consommations électriques spécifiques.

Le coefficient d'énergie primaire de l'électricité est utilisé pour déterminer la consommation d'énergie finale électrique. Sa valeur est de 2,3 dans la RE2020. La consommation de l'éclairage, des auxiliaires et de l'électricité spécifique est estimée à 175 MWh/an. Il est donc important d'étudier les possibilités d'alimenter ces besoins par des énergies renouvelables.

10.2. Energie photovoltaïque

10.2.1. Généralités

Le photovoltaïque constitue une excellente utilisation des toitures de bâtiments, même si pour les bâtiments nécessitant une production d'eau chaude, le solaire thermique sera à implanter en priorité. Des montages peuvent être imaginés pour réduire les coûts d'installation.

La construction de bâtiments neufs équipés de grandes toitures, constitue une occasion rare d'intégrer du photovoltaïque au bâti à grande échelle. Les locations de toitures pour l'implantation de panneaux raccordés au réseau sont aujourd'hui chose courante. Des privés, des particuliers ou des collectivités peuvent investir dans des m² d'installations photovoltaïques, et recevoir la part correspondante des bénéfices de la vente des kilowattheures produits, tandis que le propriétaire du bâtiment reçoit un loyer pour la mise à disposition de sa toiture. Ces montages peuvent permettre d'utiliser au maximum les surfaces de toitures adaptées à cette production d'électricité verte sans alourdir les investissements des promoteurs.

La solution la plus simple est de confier ce montage à une entreprise spécialisée qui prendra en charge toute l'installation, son exploitation, sa gestion, sa maintenance, et fournira les contrats entre le propriétaire du bâtiment et le locataire de la toiture.

10.2.2. Production photovoltaïque

L'objet de ce paragraphe est d'analyser en première approche la surface de capteurs solaires maximale envisageable, et le montage le plus pertinent.

Les hypothèses de calcul sont réalisées sur la base de panneaux solaires de 330 Wc, mesurant environ 1,7m².

Les réglementations suivantes sur l'obligation de solarisation ou de végétalisation sont appliquées au projet :

- ▶ Surfaces concernées : bâtiments commerciaux > 500 m² et parking > 500 m²
- ▶ Taux de couverture : 40% à partir de juillet 2026 et 50% à partir de juillet 2027
- ▶ A partir du 1er janvier 2028, une obligation de solarisation entrera en vigueur pour l'ensemble des bâtiments existants d'une surface > 500 m², mais le taux de couverture n'est pas encore défini.

Tableau 9 Hypothèses surface photovoltaïque

| Typologie de bâtiments | Hypothèses | Surface photovoltaïque considérée |
|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Capitainerie | Non prise en compte (contrainte ABF) | 0 m ² |
| Boomerang | 30% de la surface toiture | 1 000 m ² |
| SNSM | Non prise en compte (contrainte ABF) | 0 m ² |
| Parking | Non prise en compte (contrainte ABF) | 0 m ² |
| Total | | 1 000 m² |

La surface totale de panneaux solaires est d'environ de 2 000 m² sur la capitainerie et sur le boomerang. Les parkings ont été considéré végétalisé et non couvert d'ombrières solaires. Le potentiel de production est estimé à 1 280 kWh/kWc/an.

Le calcul de la production photovoltaïque est réalisé avec les données d'ensoleillement réelles de Pornichet ainsi qu'une inclinaison de 10° afin de diminuer au maximum l'impact visuel. La production est présentée sous 3 options d'orientations des panneaux solaires : 0° sud (1 bâtiment boomerang), 20° Ouest (perpendiculaire au bâtiment nord du boomerang) et 55° Ouest (perpendiculaire aux bâtiments centraux du boomerang).

Tableau 10 Taux de couverture des besoins en électricité du projet en fonction de la puissance installée

| Surface équivalente | Orientations Inclinaison | Puissance installée | Production par an | Investissement | Taux de couverture par bâtiment |
|--|-----------------------------|---------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|
| Boomerang 525 m ² | Sud 10° | 200 kWc | 249 MWh | 180 k€ | 142 % |
| | 20° Ouest 10° | | 247 MWh | | 141 % |
| | 55° Ouest 10° | | 240 MWh | | 137 % |

L'ensemble des panneaux peut donc produire jusqu'à **250 MWh/an**, couvrant environ **142%** des besoins en électricité (éclairage, auxiliaires et électricité spécifique) du périmètre du projet.

11. Comparaison des solutions d’approvisionnement énergétique

Afin d’analyser le potentiel en énergie renouvelable de l’opération, l’étude d’approvisionnement portera sur une comparaison de scénarios.

Ils porteront sur l’approvisionnement en chauffage et en eau chaude sanitaire (ECS). Les solutions étudiées sont retenues sur la base de leur pertinence technique, financière, environnementale et réglementaire.

L’ensemble des scénarios présentés ci-dessous ne mentionne pas directement la mise en place de **panneaux photovoltaïques**. Cependant, l’utilisation de cette technologie est une **possibilité complémentaire à tous les scénarios**.

La solution gaz est la plus classique et répandue à l’heure actuelle. Cependant, la réglementation RE2020 ne permettant plus aujourd’hui la mise en place d’une chaudière gaz seule pour la fourniture du chauffage et l’ECS en raison des critères environnementaux, nous vous proposons d’autres alternatives présentées ci-dessous.

Les scénarios sont proposés en 2 catégories : scénarios 1 à 4 (traitant de la capitainerie, SNSM et boomerang) et les scénarios 5 et 6 (traitant des bâtiments annexes).

6 scénarios seront à l’étude :

▶ **Scénario n°1 : PAC eau de mer (Capitainerie) + PAC air/eau (autres) + ballon électrique**

Ce scénario prévoit la mise en place d’une solution de PAC eau/eau (chaleur et froid) avec l’eau de mer pour la capitainerie. Le reste des bâtiments seront alimentés par des PAC air/eau par bâtiment pour le chauffage et le refroidissement. L’ECS sera fourni par des ballons électriques directement au point de puisage.

▶ **Scénario n°2 : PAC eau de mer (Capitainerie + Boomerang) + PAC air/eau (autres) + ballon électrique**

Ce scénario prévoit la mise en place d’une solution de PAC eau/eau (chaleur et froid) avec l’eau de mer pour la capitainerie et le boomerang (centralisé pour chaque lot). Le reste des bâtiments seront alimentés par des PAC air/eau par bâtiment pour le chauffage et le refroidissement. L’ECS sera fourni par des ballons électriques directement au point de puisage.

▶ **Scénario n°3 : Solution PAC air/eau + ballon électrique**

L’ensemble des bâtiments sera alimenté par des PAC air/eau par bâtiment pour le chauffage et le refroidissement. L’ECS sera fourni par des ballons électriques directement au point de puisage.

▶ **Scénario n°4 : Solution PAC air/eau + solaire thermique**

L’ensemble des bâtiments sera alimenté par des PAC air/eau par bâtiment pour le chauffage et le refroidissement. L’ECS sera fourni par des panneaux solaires thermiques par bâtiment.

▶ **Scénario n°5 : Bâtiments annexes solaire thermique + chauffage électrique**

Les bâtiments annexes seront équipés de radiateurs électriques pour le chauffage et de panneaux solaires thermiques pour l'ECS.

▶ **Scénario n°6 : Bâtiments annexes ballon électrique + chauffage électrique**

Les bâtiments annexes seront équipés de radiateurs électriques pour le chauffage et de ballons électriques pour l'ECS.

12. Comparatif des scénarios pour la desserte en chauffage et eau chaude sanitaire

12.1. Introduction

L'étude d'opportunité permet la comparaison de différentes solutions sur la base de plusieurs critères :

- ▶ Coût global ;
- ▶ Émissions CO₂ ;
- ▶ Adaptabilité aux évolutions du contexte énergétique ;
- ▶ Facilité de mise en œuvre opérationnelle.

Le coût de l'énergie ne se résume pas au coût du kWh et il est nécessaire de réaliser les comparatifs en coût global. Aussi seront étudiés :

- ▶ Le coût du kWh (P1 dans le jargon des contrats d'exploitation de chauffage) ;
- ▶ Le coût de la conduite maintenance (P2) ;
- ▶ Le coût d'investissement et de gros entretien (P3).

Dans un second temps seront également chiffrées les émissions de CO₂ des différents scénarios. Pour les autres critères, c'est une approche qualitative qui sera menée.

12.2. Hypothèses de calcul du coût kWh

12.2.1. Coûts d'énergie (P1) et facteurs d'émission CO₂

Tableau 11 Coût énergie et facteur émission CO₂

| Énergie | Fourniture | Acheminement et taxes (hors TVA) | Abonnement | Emissions CO ₂ en 2024 (kgCO ₂ / MWh) | Emissions CO ₂ en 2050 (kgCO ₂ / MWh) |
|------------------------|------------|----------------------------------|------------|---|---|
| Electricité (< 36 kVA) | 190 €/MWh | 30 €/MWh | 120 €/an | 52 | 35 |
| Electricité (> 36 kVA) | 90 €/MWh | 69 €/MWh | 39 €/an | | |

12.2.2. Evolution des prix (P1)

L'augmentation du prix des énergies a un impact décisif sur le coût d'exploitation du bâtiment sur une longue période. Or, ces augmentations prévisionnelles sont par nature inconnues.

Les hypothèses retenues pour cette étude sont basées sur les augmentations passées constatées depuis 10 ans.

L'inflation prise en compte est de 3 %.

12.2.3. Hypothèses pour les coûts de conduite et maintenance (P2)

Le P2 annuel est calculé à partir de ratios.

Après la montée en charge, l'évolution du coût de conduite et maintenance est liée à l'inflation uniquement (les pannes importantes qui peuvent survenir par la suite sont prises en compte dans le paragraphe suivant, dans le P3, gros entretien).

12.2.4. Hypothèses pour les coûts d'investissement, gros entretien et renouvellement (P3)

Les coûts considérés comprennent :

- ▶ Le remboursement des emprunts d'investissement, frais financiers inclus ;
- ▶ Les provisions pour gros entretien permettant le maintien de l'installation.

Les différentes composantes de l'investissement ont été réparties selon leur durée de vie pour adapter les taux d'emprunt. Quand la durée de vie des différents éléments est écoulée, nous considérons que l'emprunt est renouvelé de façon à financer son renouvellement. Cette méthode permet de fournir une bonne estimation de la valeur du renouvellement et du gros entretien.

Le taux d'emprunt considéré est de 3,5% pour une durée de 20 ans sur l'ensemble des investissements.

12.2.5. Coût global (P1 – P2 – P3)

En sommant ces différents coûts d'investissement et de fonctionnement, on obtient le coût global de l'énergie pour les différents modes de desserte.

12.3. Résultats du comparatif des solutions étudiées

Les graphiques suivants présentent les résultats des simulations calculatoires portant sur l'opération d'aménagement.

Les noms des scénarios sont les suivants :

- ▶ Scénario n°1 : PAC eau de mer (Capitainerie) + PAC air/eau (autres) + ballon électrique : **PAC mer (C) + PAC + ballon elec**
- ▶ Scénario n°2 : PAC eau de mer (Capitainerie et Boomerang) + PAC air/eau (autres) + ballon électrique : **PAC mer (C+B) + PAC + ballon elec**
- ▶ Scénario n°3 : Solution PAC air/eau + ballon électrique : **PAC + ballon elec**
- ▶ Scénario n°4 : Solution PAC air/eau + solaire thermique : **PAC + solaire thermique**
- ▶ Scénario n°5 : Bâtiments annexes solaire thermique + chauffage électrique : **Solaire thermique + chff elec**
- ▶ Scénario n°6 : Bâtiments annexes ballon électrique + chauffage électrique : **Ballon elec + chff elec**

12.3.1. Paramètres techniques de dimensionnement

Les paramètres techniques suivants ont été pris en compte :

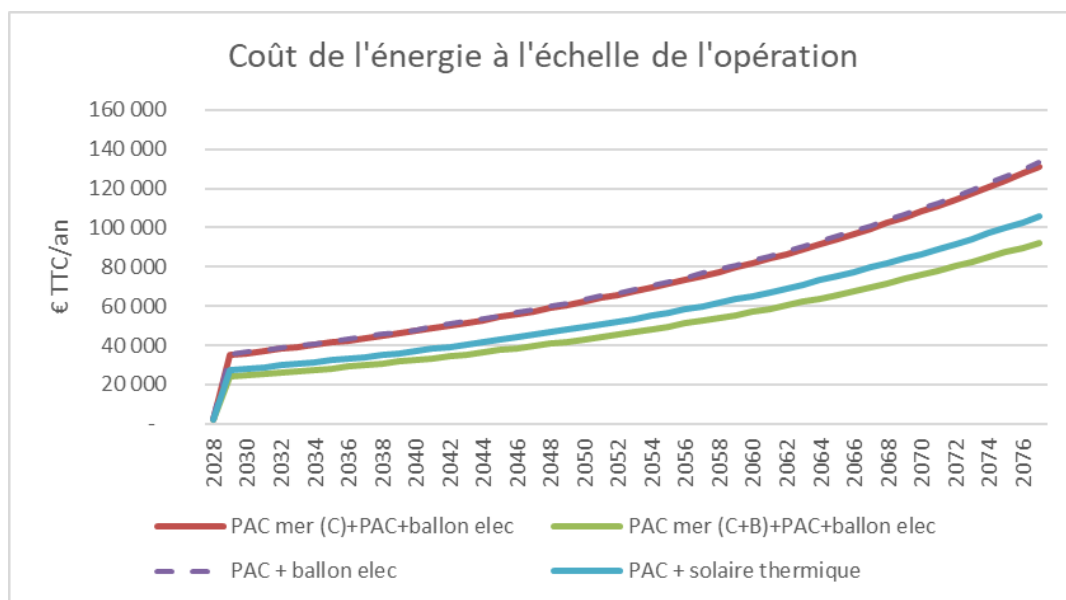
| Equipement | Paramètre | Valeur | Explication |
|----------------------------------|-------------------|--------|--|
| PAC eau de mer | COP moyen | 8 | COP chaud : 4 50% du besoin froid en PAC, SEER : 8 50% du besoin froid en freecooling, SEER : 20 |
| PAC air/eau | COP moyen | 4,5 | COP chaud : 3,5 COP froid : 5,5 |
| Panneau solaire thermique | % énergie solaire | 80% | Taux de couverture important en raison de la saisonnalité de la demande en même temps que le pic de production solaire |

12.3.2. Analyse du coût de fourniture d'énergie (P1)

Le coût de fourniture d'énergie P1 représente le montant facturé chaque mois par les fournisseurs d'énergie. Il est directement porté par les utilisateurs. Sur le long terme ce coût est influencé par la hausse du coût des énergies.

Les hypothèses sur l'évolution des coûts de l'énergie sont fortement déterminantes pour les allures globales des courbes.

12.3.2.1. Scénario 1 à 4

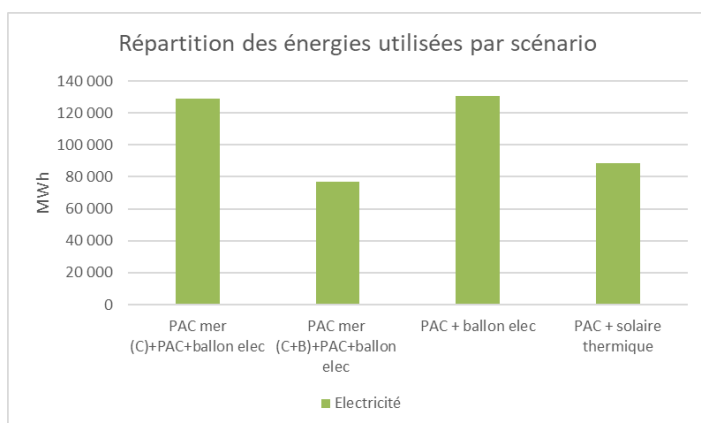


Cette représentation graphique permet de comparer d'une part les solutions PAC air/eau et PAC eau/eau de mer ainsi que les solutions ballon électrique et solaire thermique.

Tout d'abord, la solution de PAC eau de mer est plus avantageuse d'un point de vue coût de l'énergie qu'une PAC air/eau en raison de sa meilleure efficacité. Cela s'explique par l'utilisation du freecooling en été et d'un meilleur COP en hiver. Le freecooling consiste à utiliser directement le froid de l'eau de mer (19°C en été) pour climatiser les bâtiments sans activer la PAC une partie de l'été (hypothèse de 50% des besoins froid). En hiver, la production de chaleur est plus efficace avec une PAC eau de mer en raison de la température de l'eau de mer qui est de 9°C en février. Par rapport à une PAC air/eau, lorsque la température extérieure est inférieure, le COP en est dégradé.

Les besoins en climatisation et chauffage du Boomerang représentent 94% des besoins de l'ensemble des bâtiments. De ce fait, installer une PAC eau de mer sur le Boomerang a un impact significatif sur les consommations, contrairement à la Capitainerie qui représente seulement 4%. De plus, la mise en place d'une PAC centralisée sur le boomerang permettra d'avoir un seul contrat électrique et donc de diminuer le prix de fourniture.

D'autre part, ce graphique met en lumière l'avantage du solaire thermique vis-à-vis du ballon électrique. Le solaire couvrant 80% des besoins (complétés par une résistance électrique), la majorité de l'énergie fournie est gratuite. Ce taux de couverture solaire important est accessible grâce à un besoin saisonnier principalement en été lors de la saison touristique des plaisanciers.

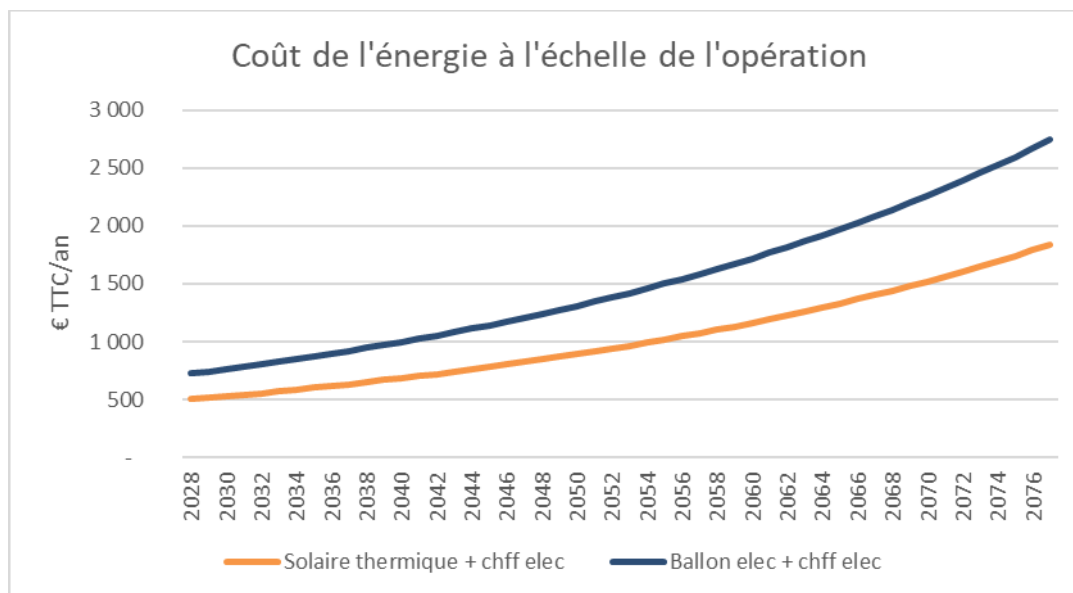


Le graphique ci-contre illustre les propos précédents concernant l'efficacité énergétique des différents systèmes. L'électricité est la seule source d'énergie payante des différents scénarios. Les écarts de coûts sont donc dus aux différentes consommations dépendantes des technologies choisies.

Les scénarios les plus avantageux sur le critère P1 sont la solution 02 – « PAC mer (C+B) + PAC + ballon élec » ainsi que la solution 04 – « PAC + solaire thermique ».

Il serait pertinent de mettre en place une PAC eau de mer sur la capitainerie et le boomerang pour le chauffage et la climatisation accompagnée par du solaire thermique pour l'ECS afin de cumuler le plus d'avantages sur le critère P1.

12.3.2.2. Scénario des bâtiments annexes



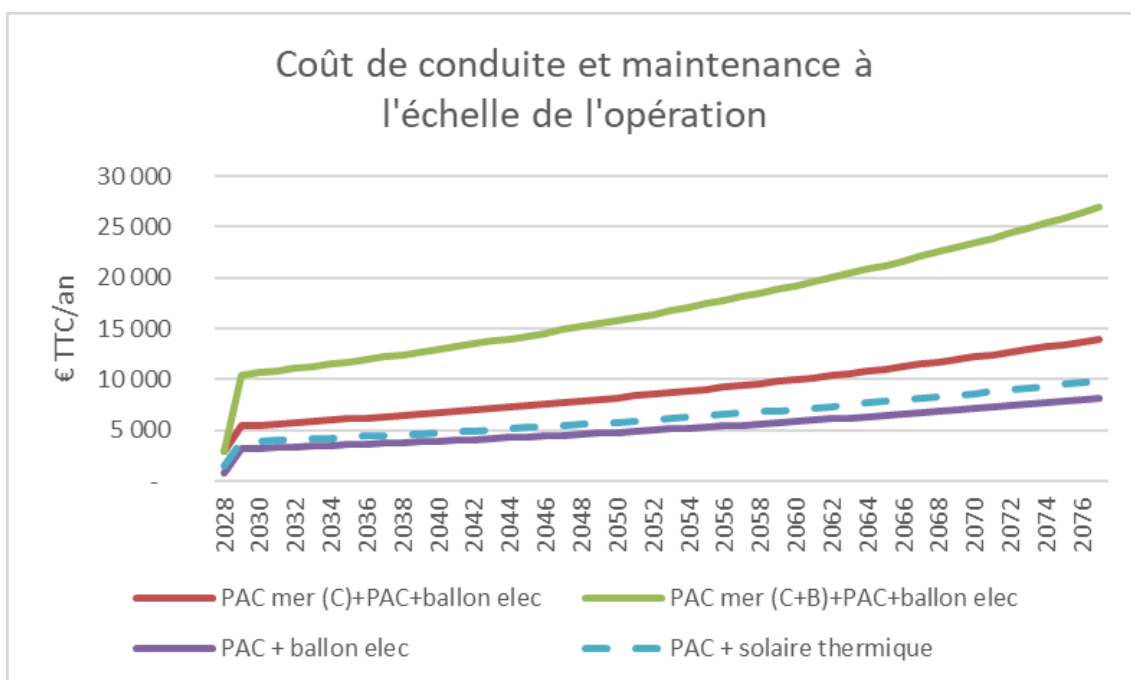
La solution impliquant du solaire thermique permet, en raison du coût nul de l'énergie solaire, de disposer du coût de fourniture le plus faible pour alimenter les bâtiments annexes.

Il est à noter que le solaire thermique couvre 80% des besoins thermiques complété par un appoint électrique en raison de la saisonnalité des besoins lors du pic de production solaire.

Pour les bâtiments annexes, le scénario le plus avantageux sur le critère P1 est celui de la solution 05 – « Solaire thermique + chauffage élec ».

12.3.3. Analyse du coût de conduite et de maintenance (P2)

12.3.3.1. Scénarios 1 à 4



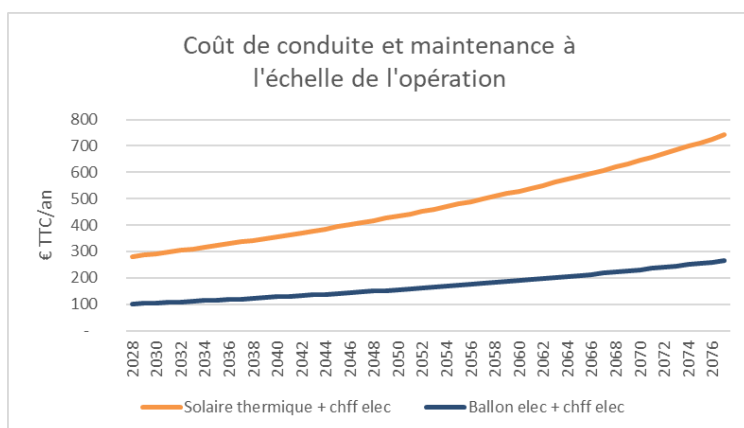
Les solutions les plus intéressantes sont celles qui mutualisent les systèmes à l'échelle de plusieurs bâtiments et qui ont recours à des installations simples nécessitant peu d'éléments à entretenir.

Les PAC eau de mer nécessitent une maintenance plus importante en raison de l'usure accélérée des pièces engendrée par l'érosion (renouvellement des échangeurs et des canalisations fréquemment) intégrée dans la maintenance.

La solution de ballon électrique est la plus rustique nécessitant le moins d'entretien.

Le scénario le plus avantageux sur le critère P2 est celui de la solution 03 – « PAC + ballon élec ».

12.3.3.2. Scénarios des bâtiments annexes



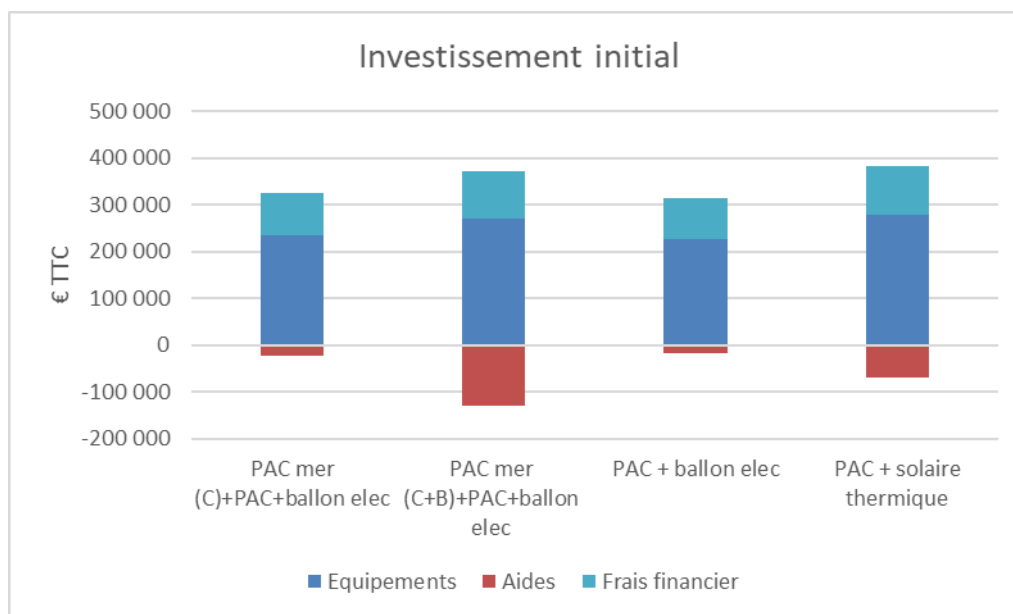
Les panneaux solaires thermiques étant des équipements plus complexes (canalisations entre le panneau et le ballon, panneaux solaires) et exposés aux aléas environnementaux (eau de mer), ils nécessitent une maintenance plus régulière que les ballons électriques.

Pour les bâtiments annexes, le scénario le plus avantageux sur le critère P2 est celui de la solution 06 – « Ballon élec + chauffage électrique ».

12.3.4. Analyse du coût investissement et gros entretien (P3)

12.3.4.1. Scénarios 1 à 4

Le graphique ci-dessous présente l'investissement initial et la répartition par typologie pour chaque scénario :



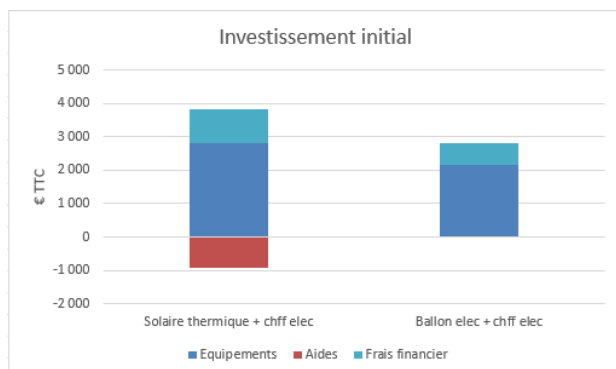
Pour les solutions collectives, une attention particulière doit être prise sur l'analyse des différents coûts. En effet, seuls les coûts systèmes étant considérés, les coûts annexes ne sont pas intégrés dans l'analyse (foncier, génie civil pour la construction d'un local chaufferie par exemple).

Comme énoncé précédemment, les besoins en climatisation et chauffage du Boomerang représentent 94% des besoins de la totalité des bâtiments. Les aides financières étant calculées sur la base des consommations, la solution « PAC mer (C+B) + PAC + ballon elec » est donc éligible aux aides financières de l'ADEME les plus importantes. Cela permet de compenser le surinvestissement et d'aboutir à un investissement final inférieur aux autres scénarios en raison de la mutualisation des coûts sur l'ensemble du Boomerang.

Le solaire thermique est aussi éligible à des aides du fond chaleur représentant entre 50% et 70% du CAPEX permettant de réduire le surinvestissement.

Le scénario le plus avantageux sur le critère P3 est la solution 02 – « PAC mer (C+B)+PAC+ballon élec ».

12.3.4.2. Scénarios des bâtiments annexes



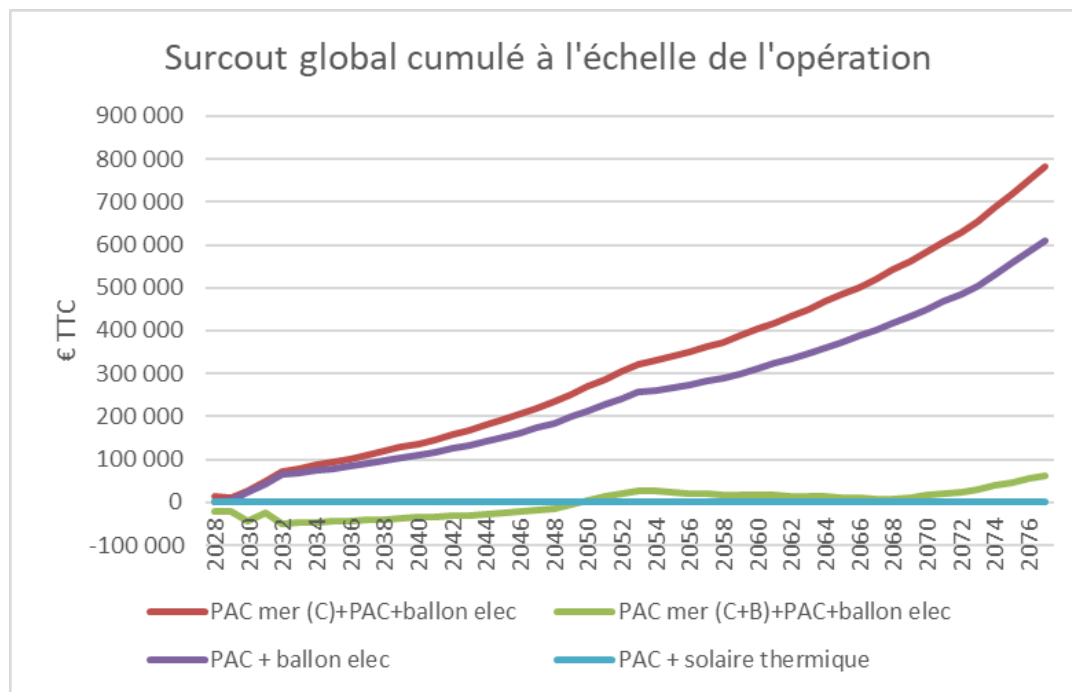
Le surinvestissement d'environ 1 200 € TTC pour le solaire thermique est compensé à hauteur de 75% par les aides du fond chaleur.

Pour les bâtiments annexes, les deux scénarios sont équivalents avec un léger avantage pour la solution 06 – « Ballon élec + chauffage électrique ».

12.3.5. Analyse du coût global

Cette approche en coût global présentée ci-dessus n'intègre que les coûts des systèmes. Ainsi, les coûts annexes portant sur les bâtiments (amélioration de la performance du bâti ou des systèmes hors chauffage et ECS, génie civil sur les chaufferies...) ne sont pas considérés.

12.3.5.1. Scénarios 1 à 4

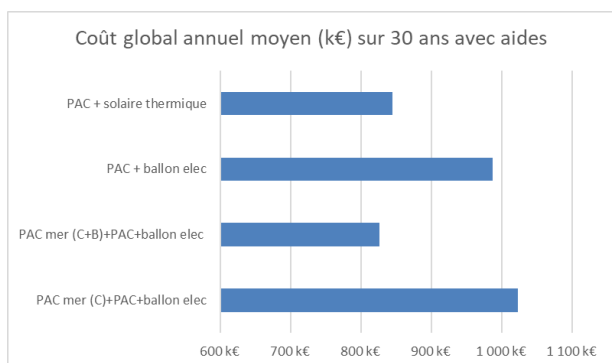


L'analyse du coût global permet de comparer les solutions sur la base de leur coût annuel respectif.

Afin d'avoir un meilleur aperçu des différents scénarios, nous menons une approche en surcoût global cumulé, ceci en considérant le scénario 04 – « PAC + solaire thermique » comme référence. Cette approche permet de visualiser le temps de retour des solutions vis-à-vis de la référence.

La représentation graphique met clairement en évidence l'inflation globale ainsi que le renouvellement des équipements à la fin de leur durée de vie (entre 15 et 25 ans selon les solutions).

Grâce à son surinvestissement compensé par des aides, ainsi que le faible coût de l'énergie, le scénario 03 « PAC eau de mer (C+B) » est le plus avantageux sur 30 ans. La solution « PAC + solaire thermique » est également très pertinente voire plus avantageuse au-delà de 30 ans en raison de son coût plus faible.



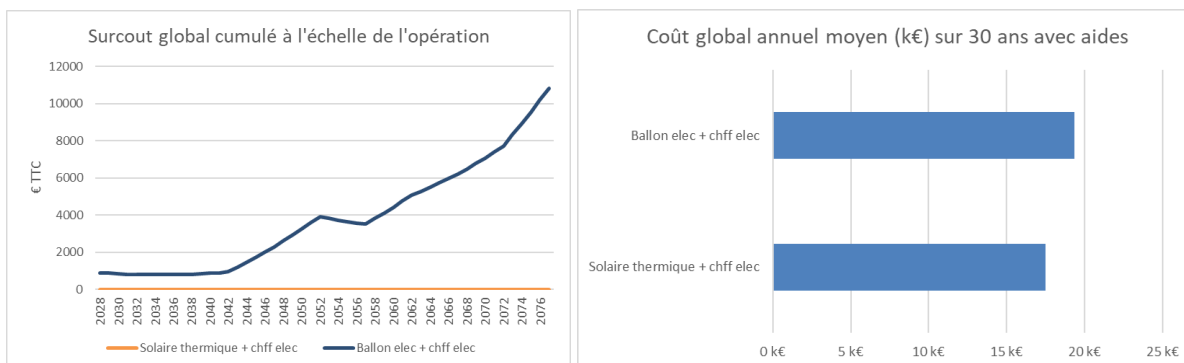
| Scénarios | Surcoût à 30 ans du coût global cumulé |
|-------------------------------|--|
| PAC + solaire thermique | + 2 % |
| PAC + ballon elec | + 19 % |
| PAC mer (C+B)+PAC+ballon elec | / |
| PAC mer (C)+PAC+ballon elec | + 24 % |

Les scénarios les plus avantageux sur le critère coût global sont la Solution 02 – « PAC mer (C+B)+PAC+ballon elec » ainsi que la solution 04 – « PAC + Solaire thermique »

Il serait donc intéressant de mettre en place une PAC eau de mer sur la capitainerie et le boomerang accompagnée par du solaire thermique.

12.3.5.2. Scénarios des bâtiments annexes

La même méthode a été appliquée pour les bâtiments annexes.

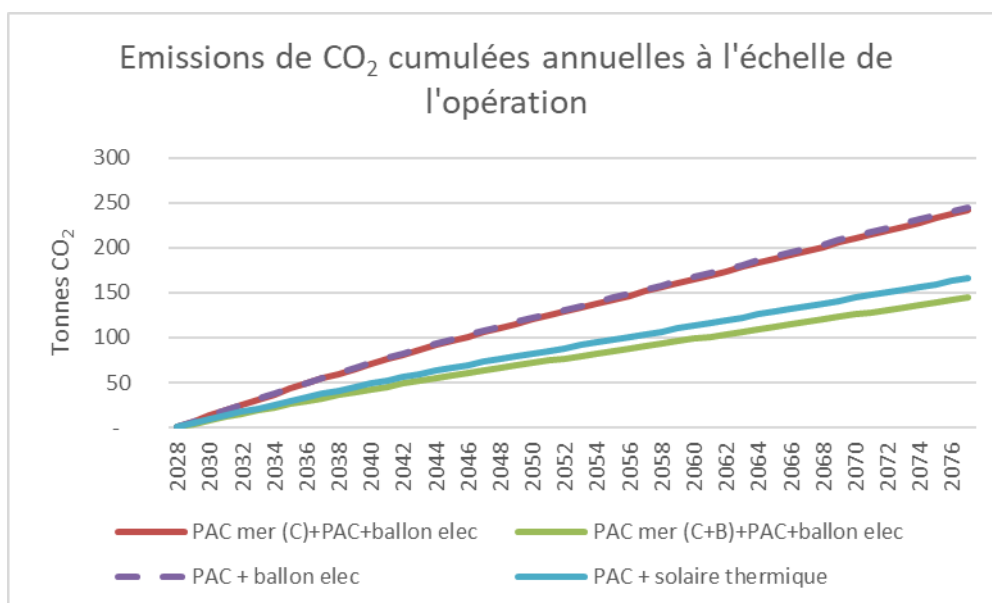


| Scénarios | Surcoût à 30 ans du coût global cumulé |
|-------------------------------|--|
| Solaire thermique + chff élec | / |
| Ballon élec + chff élec | + 11 % |

Pour les bâtiments annexes, le scénario le plus avantageux sur le critère coût global est la Solution 05 – « Solaire thermique + chauffage électrique ».

12.3.6. Résultat du comparatif émissions de CO₂

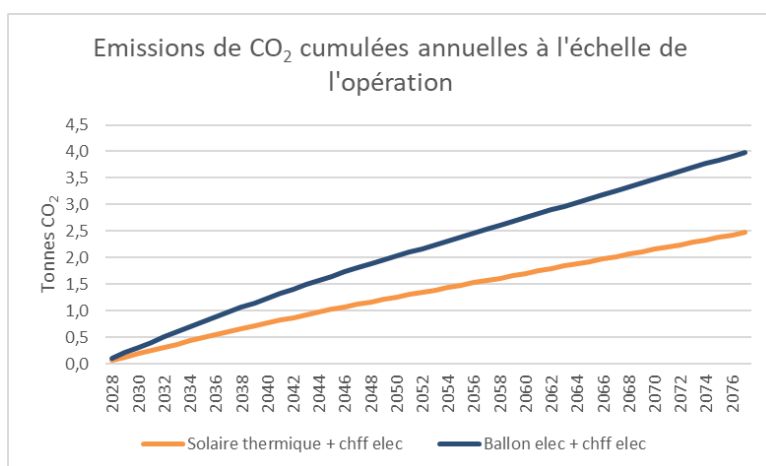
12.3.6.1. Scénarios 1 à 4



Les solutions les moins émettrices sont celles qui utilisent des ressources renouvelables telles que le solaire et les pompes à chaleur. Naturellement, les solutions intégrant des ballons électriques sont donc plus émettrices bien que le facteur d'émission du mix électrique français reste plus faible que dans d'autres pays.

Le scénario le plus avantageux sur le critère environnemental est la solution 02 – « PAC mer (C+B)+PAC+ballon élec ».

12.3.6.2. Scénarios des bâtiments annexes



Le solaire thermique présente un facteur d'émission plus faible que le ballon électrique grâce à l'utilisation d'une source d'énergie renouvelable (solaire).

Pour les bâtiments annexes, le scénario le plus avantageux sur le critère environnemental est la solution 05 – « Solaire thermique + chauffage électrique ».

12.3.7. Synthèse du comparatif

Le tableau suivant présente une synthèse multicritères de l'analyse des scénarios de desserte étudiés :

Tableau 12 Synthèse comparative

| | PAC mer (C)+PAC+ballon elec | PAC mer (C+B)+PAC+ballon elec | PAC + ballon elec | PAC + solaire thermique | Solaire thermique + chff elec | Ballon elec + chff elec |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Coût global moyen sur 30 ans | 1023 k€ TTC/an | 826 k€ TTC/an | 987 k€ TTC/an | 845 k€ TTC/an | 17 k€ TTC/an | 19 k€ TTC/an |
| Mutualisation des équipements | Bâtiment / individuel | Bâtiment | Bâtiment / individuel | Bâtiment / individuel | Bâtiment | Bâtiment |
| Emprise au sol des solutions | Faible | Faible | Faible | Faible | Faible | Faible |
| Stabilité du coût pour les usagers | Moyenne | Fort | Moyenne | Fort | Fort | Moyenne |
| Emissions de CO ₂ moyennes sur 30 ans | 5,1 t CO ₂ /an | 3,0 t CO ₂ /an | 5,0 t CO ₂ /an | 3,5 t CO ₂ /an | 0,05 t CO ₂ /an | 0,08 t CO ₂ /an |
| Adaptabilité de l'ensemble du projet à un changement d'énergie | Moyen | Fort | Moyen | Moyen | Fort | Fort |
| Recours en ENR&R | Fort | Fort | Moyen | Fort | Fort | Moyen |
| Pollution de l'air | Aucune | Aucune | Aucune | Aucune | Aucune | Aucune |
| Synthèse | Solution à pertinence modérée | Solution pertinente | Solution à pertinence modérée | Solution pertinente | Solution pertinente | Solution à pertinence modérée |

13. Conclusion

Cette évaluation du potentiel en énergies renouvelables sur l'opération d'aménagement située sur la commune de **Pornichet** constitue une première approche de faisabilité technique et de comparatif technico-économique et environnemental destinée à explorer les solutions énergétiques envisageables et proposer une stratégie.

Dans une démarche énergétique pertinente, il est important de réaliser en amont de la desserte énergétique un travail sur l'enveloppe des bâtiments chauffés : optimisation de l'isolation, implantation bioclimatique. En effet, l'énergie la moins chère et la moins polluante est celle que l'on ne consomme pas. Ainsi, avant de mener une réflexion pour consommer mieux, une réflexion sur chaque bâtiment devra être menée pour consommer moins.

Au niveau de l'opération d'aménagement, les scénarios les plus avantageux sont la Solution 02 – « PAC mer (C+B)+PAC+ballon elec » ainsi que la solution 04 – « PAC + Solaire thermique ».

Les avantages de ces scénarios sont les suivants :

- Solutions solaires thermiques pour l'ECS
- Solution PAC eau de mer centralisée pour la capitainerie et le boomerang permettant de diminuer les coûts d'investissement avec la centralisation des besoins

A noter la difficulté de prévision des consommations finales du boomerang en raison de la non-définition des usages impactant largement la consommation finale d'énergie. Cela impacte directement le dimensionnement de la solution PAC eau de mer centralisée.

Concernant les bâtiments annexes le scénario le plus avantageux est la solution 05 – « Solaire thermique + chauffage électrique ».

Pour rappel, six scénarios ont été analysés :

▶ **Scénario n°1 : PAC eau de mer (Capitainerie) + PAC air/eau (autres) + ballon électrique**

Ce scénario prévoit la mise en place d'une solution de PAC eau/eau (chaleur et froid) avec l'eau de mer pour la capitainerie. Le reste des bâtiments seront alimentés par des PAC air/eau par bâtiment pour le chauffage et le refroidissement. L'ECS sera fourni par des ballons électriques directement au point de puisage.

▶ **Scénario n°2 : PAC eau de mer (Capitainerie + Boomerang) + PAC air/eau (autres) + ballon électrique**

Ce scénario prévoit la mise en place d'une solution de PAC eau/eau (chaleur et froid) avec l'eau de mer pour la capitainerie et le boomerang. Le reste des bâtiments seront alimentés par des PAC air/eau par bâtiment pour le chauffage et le refroidissement. L'ECS sera fourni par des ballons électriques directement au point de puisage.

▶ **Scénario n°3 : Solution PAC air/eau + ballon électrique**

L'ensemble des bâtiments sera alimenté par des PAC air/eau par bâtiment pour le chauffage et le refroidissement. L'ECS sera fourni par des ballons électriques directement au point de puisage.

▶ **Scénario n°4 : Solution PAC air/eau + solaire thermique**

L'ensemble des bâtiments sera alimenté par des PAC air/eau par bâtiment pour le chauffage et le refroidissement. L'ECS sera fourni par des panneaux solaires thermiques par bâtiment.

▶ **Scénario n°5 : Bâtiments annexes solaire thermique + chauffage électrique**

Les bâtiments annexes seront équipés de radiateurs électriques pour le chauffage et de panneaux solaires thermiques pour l'ECS.

► **Scénario n°6 : Bâtiments annexes ballon électrique + chauffage électrique**

Les bâtiments annexes seront équipés de radiateurs électriques pour le chauffage et de ballons électriques pour l'ECS.

L'analyse de la pertinence des solutions doit être menée dans une approche multicritère. Baser le choix d'une desserte uniquement sur l'aspect économique serait non pertinent. En effet, les coûts intégrés dans l'étude se limitent aux systèmes : les coûts annexes relatifs au génie civil des chaufferies, au foncier ou à l'impact environnemental ne sont pas considérés.

Concernant le photovoltaïque, c'est une possibilité complémentaire à tous les scénarios qui doit être prise en considération afin d'apporter une stabilité sur le coût de l'électricité.

Dans tous les cas, le choix de la solution est laissé au constructeur, l'analyse présentée dans ce document étant un outil d'aide à la décision.

Dans une approche plus globale, il pourrait être intéressant de mener une approche d'écologie industrielle afin d'identifier les besoins de chaque bâtiment et les synergies possibles (réseaux intelligents entre bâtiments dans le déphasage entre production/stockage/consommation d'énergie, réutilisation des déchets des uns en tant qu'intrants...).



sce

Aménagement
& environnement

www.sce.fr

GROUPE KERAN