

# « Potentiel Bioclimatique » et recours aux Energies renouvelables - Etablissement pénitentiaire d'Angers

22 juin 2023

APIJ



## Informations relatives au document

### INFORMATIONS GÉNÉRALES

**Auteur(s)** Roman Algayres  
**Fonction** Consultant énergie  
**Version** V4

### HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Vérfié par	Fonction	Signature
V1	28-11-2022	Florence Caruel	Consultante énergie	FC
V2	15-12-2022	Florence Caruel	Consultante énergie	FC
V3	09-03-2023	Florence Caruel	Consultante énergie	FC
V4	22-06-2023	Florence Caruel	Consultante énergie	FC

## Table des matières

<b>PRÉAMBULE</b> .....	<b>5</b>
<b>I. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1 Lois gouvernementales pour le climat</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2 La réglementation thermique pour la création de nouveaux bâtiments</b> .....	<b>6</b>
<b>1.3 Obligation de l'étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables</b> .....	<b>8</b>
<b>II. BÂTIMENT BIOCLIMATIQUE</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1. QU'EST-CE QU'UN BÂTIMENT BIOCLIMATIQUE ?</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2. Comment construire un bâtiment bioclimatique ?</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2.1. Utilisation de l'environnement</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2.2. Matériaux à mettre en œuvre</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2.3. Gestion de l'eau</b> .....	<b>12</b>
<b>2.3. Contexte environnemental de l'établissement pénitentiaire</b> .....	<b>13</b>
<b>III. LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1. Elaborer une stratégie énergétique</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2. Adapter la stratégie énergétique aux besoins du site</b> .....	<b>19</b>
<b>IV. INVENTAIRE DU POTENTIEL EN ÉNERGIES RENOUVELABLES</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1. La géothermie</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1.1. Géothermie moyenne et haute énergie</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1.2. Géothermie basse Energie</b> .....	<b>21</b>
a. <b>Géothermie sur nappe</b> .....	<b>21</b>
b. <b>Géothermie sur pieux</b> .....	<b>22</b>
<b>4.2. Les énergies de récupération</b> .....	<b>25</b>
<b>4.2.1. Récupération de chaleur sur eaux grises passives</b> .....	<b>25</b>
<b>4.2.2. Production de chaleur à l'aide des eaux grises du site</b> .....	<b>25</b>
<b>4.2.3. Récupération de chaleur sur les eaux usées et eaux vannes</b> .....	<b>26</b>
<b>4.3. La biomasse</b> .....	<b>28</b>
<b>4.3.1. Chaufferie bois</b> .....	<b>28</b>
a. <b>Gestion des ressources en bois dans les Pays de la Loire</b> .....	<b>28</b>
b. <b>Les installations techniques</b> .....	<b>30</b>
<b>4.3.2. Méthanisation des déchets</b> .....	<b>31</b>
<b>4.4. L'énergie solaire</b> .....	<b>33</b>
<b>4.4.1. Potentiel local</b> .....	<b>33</b>
<b>4.4.2. Solaire thermique</b> .....	<b>34</b>
<b>4.4.3. Solaire photovoltaïque</b> .....	<b>35</b>
<b>4.4.4. Le solaire hybride</b> .....	<b>36</b>

4.4.5. EMS .....	37
4.5. Eolien .....	38
4.5.1. Grand et moyen éolien.....	39
4.5.2. Petit éolien .....	40
4.5.3. Eolien Urbain.....	42
<b>V. SYNTHÈSES DES PISTES ÉNERGÉTIQUES .....</b>	<b>43</b>
<b>VI. ETABLISSEMENT DES DIFFERENTS SCENARIOS.....</b>	<b>44</b>
6.1. Calcul des besoins énergétiques du site .....	44
6.2. Etudes des solutions techniques .....	46
6.2.1. Scénario de référence.....	47
6.2.2. Scénario 1 : Chauffage bois .....	48
6.2.3. Scénario 2 : Chauffage bois + solaire thermique.....	51
6.2.4. Scénario 3 : Chauffage bois + solaire photovoltaïque + solaire thermique .....	52
6.2.5. Scénario 4 : Récupération sur eaux grises PAC .....	53
<b>2 FOCUS SUR L'ACHAT D'ÉNERGIE VERTE.....</b>	<b>55</b>
<b>VII. .... SYNTHESE DES</b>	
<b>SCENARIOS .....</b>	<b>57</b>
<b>ANNEXE 1 .....</b>	<b>58</b>

## PRÉAMBULE

Le projet de construction de cet établissement pénitentiaire s'inscrit dans le « Plan 15 000 places » d'établissement pénitentiaire de M.Emmanuel Macron. Ce plan d'action a pour objectif d'atteindre 80% de placements en cellule individuelle en France pour améliorer les conditions de travail des agents et la prise en charge des personnes détenues.

Ce nouvel établissement pénitentiaire aura une capacité de 850 places contre 266 dans l'établissement actuel d'Angers et aura une emprise au sol de 48 405 m<sup>2</sup>.

L'objectif de la mission pour laquelle EGIS a été mandaté est d'établir un état des lieux du contexte réglementaire et environnemental dans lequel le bâtiment sera construit et de proposer différentes technologies produisant des énergies renouvelables potentiellement applicable sur le futur site.

## I. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

### 1.1 Lois gouvernementales pour le climat

Pour permettre de respecter les engagements de la France lors des Accords de Paris sur le climat du 12 décembre 2015, un certain nombre de mesures ont été mises en place. Le gouvernement a donc mis en place la « loi de transition énergétique pour la croissance verte » qui a des attentes dans le domaine du logement, de la construction et pour les territoires.

Dans les mesures mises en place, celles qui concernent le futur établissement pénitentiaire de Loire-Authion sont les suivantes :

- Améliorer la performance énergétique et environnementale des bâtiments neufs en visant la promotion des bâtiments à énergie positive ou à haute performance environnementale ;
- Lutter contre le gaspillage et promouvoir l'économie circulaire ;
- Mettre en oeuvre des énergies renouvelables en simplifiant les procédures et en soutenant les bâtiments utilisant des énergies électriques matures.

En plus de cette loi (LTECV), le gouvernement a également adopté en 2019, la Loi Energie Climat (LEC). Elle vise à réduire notre dépendance aux énergies fossiles et à accélérer le développement des énergies renouvelables. Elle s'articule autour de plusieurs points et notamment :

- La réduction de la consommation d'énergies fossiles de 40% ;
- L'arrêt de la production d'électricité à partir du charbon ;
- L'obligation de l'installation de panneaux solaires (limité pour l'instant aux entrepôts et bâtiments commerciaux de 1 000m<sup>2</sup> d'emprise au sol) ;
- Atteindre 33% d'énergies renouvelables dans le mix-énergétique d'ici 2030 ;
- Soutenir la filière hydrogène.

### 1.2 La réglementation thermique pour la création de nouveaux bâtiments

Conformément à la fiche d'application émanant du CSTB, de l'ADEME et du ministère de l'écologie et du développement durable, datée du 24 avril 2013, les établissements pénitentiaires en enceinte ne sont pas soumis à la réglementation thermique et environnementale en vigueur (RT 2012 ou RE 2020 pour les bâtiments neufs et la réglementation thermique pour les bâtiments existants).

En revanche, nous suggérons tout de même de respecter la réglementation thermique en vigueur dans le cadre de la création de bâtiments neufs, à savoir, à minima la RT2012.

De plus, en anticipation de l'entrée en vigueur de la RE2020 pour les centres pénitentiaires, il est demandé d'appliquer la réglementation thermique 2012 avec les objectifs suivants pour tous les bâtiments :

- $B_{bio} \leq B_{biomax} - 20\%$
- $B_{bio} \leq C_{epmax} - 30\%$

En complément du respect de la RT 2012, il est demandé que les constructions neuves respectent les exigences suivantes :

- Calcul du niveau Energie et du niveau Carbone selon la méthode du référentiel sur l'ensemble des bâtiments (en enceinte et hors enceinte) ;
- Niveau Carbone 1 pour les bâtiments hors enceinte.

Compte tenu des contraintes pesant sur la conception architecturale et technique des bâtiments pénitentiaires, un certain nombre de dérogations par rapport à l'arrêté du 28 décembre 2012 sont introduites.

Il n'est donc pas obligatoire d'avoir un dispositif d'arrêt manuel et de réglage automatique du chauffage et du refroidissement en fonction de la température intérieure des locaux pour l'ensemble des cellules.

Les énergies renouvelables devront couvrir à minima 10% de la consommation d'énergie primaire du centre pénitentiaire.

Si la décision est prise de construire l'établissement pénitentiaire selon la RE 2020, il faut savoir qu'elle met en place 6 indicateurs qu'un bâtiment doit respecter pour être conforme :

- Le besoin bioclimatique de la construction (BBIO)

Il s'agit d'un coefficient en points qui n'a pas d'unité et qui suit la formule suivante,  $B_{bio} = (2 \times \text{besoins de chauffage}) + (2 \times \text{besoins de froid}) + (5 \times \text{besoin d'éclairage})$ . Ce coefficient est 20% plus bas que celui de la RT2012. Il permet de mesurer la qualité énergétique d'une construction.

- La consommation d'énergie primaire (CEP)

A la différence de la RT 2012, la RT 2020 prend également en compte la consommation énergétique des parties communes. La CEP caractérise la consommation énergétique du bâtiment.

- La consommation d'énergie non renouvelable (CEP NR)

Cet indicateur impose un seuil maximal de consommation d'énergies non renouvelables en interdisant l'utilisation d'électricité dites « directe » (panneaux rayonnants électriques, plancher chauffant électrique, ...) tout en encourageant la production d'énergie renouvelable.

- Le degré-heure (DH)

Il permet d'évaluer la résistance à la chaleur d'un bâtiment sans système de refroidissement actif. Le degré-heure représente la durée et l'intensité d'inconfort sur une année.

- L'impact carbone de la consommation d'énergie (IC Energie)

Cet indicateur permet de mesurer l'impact du changement climatique sur la consommation énergétique d'un bâtiment. L'utilisation d'énergies fossiles doit donc être abandonnée pour respecter ce point.

- Impact carbone de la construction (IC construction)

Comme son nom l'indique, il mesure l'impact carbone de la construction dans son ensemble. Afin de respecter cet indicateur, il faut consommer moins, utiliser des matériaux avec un faible impact environnemental et un moindre besoin de renouvellement.

En plus de tous les critères mentionnés plus haut, l'arrêté « relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine » indique les attentes en ce qui concerne les matériaux et les technologies employées.

### **1.3 Obligation de l'étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables**

Pour toute action ou opération d'aménagement faisant l'objet d'une évaluation environnementale, une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone doit être faite.

Cette obligation s'applique aux actions et opérations d'aménagement pour lesquelles la première demande d'autorisation intervient à compter du 1er octobre 2019.

L'étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables étudie les opportunités de développer ces énergies dans les actions et opérations d'aménagement. L'obligation d'établir cette étude émane de l'article L300-1 du Code de l'urbanisme, qui vise en particulier « les projets favorisant l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération ». Elle s'adresse aux projets faisant l'objet d'une étude environnementale.

## **II. BÂTIMENT BIOCLIMATIQUE**

Un bâtiment bioclimatique est un bâtiment dont l'implantation et la conception prend en compte le climat et l'environnement immédiat, afin de réduire les besoins en énergie pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage.

### **2.1. Qu'est-ce qu'un bâtiment bioclimatique ?**

On parle de conception bioclimatique lorsque l'architecture du projet est adaptée en fonction des caractéristiques et particularités du lieu d'implantation, afin d'en tirer le bénéfice des avantages et de se prémunir des désavantages et contraintes.

L'objectif principal est d'obtenir le **confort d'ambiance** recherché de manière la plus naturelle possible en utilisant les **moyens architecturaux**, les **énergies renouvelables** disponibles et en utilisant le moins possible les moyens techniques mécanisés et les énergies extérieures au site. Ces stratégies et techniques architecturales cherchent à profiter au maximum du soleil en hiver et de s'en protéger durant l'été. C'est pour cela que l'on parle également d'architecture « solaire » ou « passive ».

Le choix d'une démarche de conception bioclimatique favorise les économies d'énergies et permet de réduire les dépenses de chauffage et de climatisation, tout en bénéficiant d'un cadre de vie très agréable.

Afin d'optimiser le confort des occupants tout en préservant le cadre naturel de la construction, de nombreux paramètres sont à prendre en compte. Une attention toute particulière sera portée à l'orientation du bâtiment (afin d'exploiter l'énergie et la lumière du soleil), au choix du terrain (climat, topographie, zones de bruit, ressources naturelles, ...) et à la construction (surfaces vitrées, protections solaires, compacité, matériaux, ...).

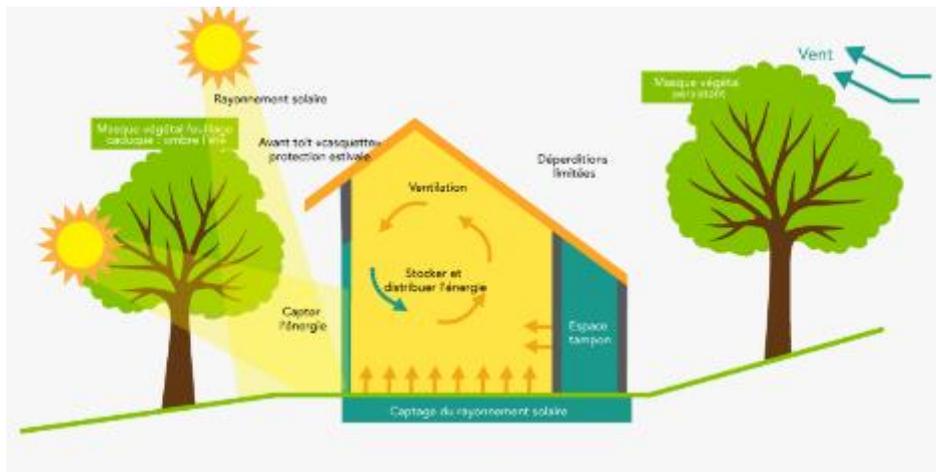


FIGURE 1 : PRINCIPES DE BASE D'UNE CONCEPTION BIOCLIMATIQUE (IMMOECO)

Un bâtiment sobre génère un minimum de déchets durant sa construction, son exploitation et lors de sa reconversion en fin de vie.

## 2.2. Comment construire un bâtiment bioclimatique ?

### 2.2.1. Utilisation de l'environnement

Dans une conception bioclimatique, on va chercher à tirer le meilleur profit des énergies abondantes et gratuites comme l'énergie solaire.

Il faut donc penser le bâtiment pour qu'en hiver il puisse capter le maximum d'énergie solaire, la diffuser et la conserver. A l'inverse, en été, il faut que le bâtiment puisse évacuer le surplus de chaleur.

Ainsi, la conception d'un bâtiment bioclimatique va s'articuler autour de trois axes :

### ■ Capturer et 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. **Il faut donc maximiser 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 le cadre de ce projet qui se situe 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 est donc nécessaire 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 sera donc judicieux d'installer des protections solaires verticales sur les façades Est et Ouest et d'augmenter l'opacité des vitrages** (volets, vitrage opaque) ou encore de mettre en place une végétation caduque.

Sur ce projet, on veillera donc à proposer :

- 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.

### ■ Transformer et diffuser la chaleur

Une fois le rayonnement solaire capté et transformé en chaleur, celle-ci doit être diffusée et/ou captée. Le bâtiment bioclimatique est 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 sera donc nécessaire d'installer un sol foncé, et d'utiliser des teintes variables sur les murs selon la priorité entre la diffusion de lumière et la captation de l'énergie solaire 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). Ainsi, le centre pénitentiaire devra comporter une surface au sol de couleur sombre, avec des matériaux mats et de surface granuleuse.

Les matériaux choisis auront également un impact sur la sensation de froid ou de chaud, ce point sera développé dans le 2.2.2.

### ■ Conserver la chaleur ou la fraîcheur

En hiver, une fois captée et transformée, l'énergie solaire doit être conservée à l'intérieur de la construction et valorisée au moment opportun.

En été, c'est la fraîcheur 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.**

### ■ Favoriser l'éclairage naturel

Les consommations électriques pour l'éclairage représentent une grosse partie de la consommation du bâtiment, il faut donc **maximiser l'utilisation de la lumière naturelle.**

## 2.2.2. Matériaux à mettre en œuvre

Afin de pouvoir stocker l'énergie produite par l'environnement, il faut utiliser les caractéristiques physiques des matériaux. Ces caractéristiques vont déterminer la vitesse et l'intensité à laquelle l'énergie sera stockée ainsi que la quantité d'énergie stockable et à quelle vitesse elle pourra être restituée.

Pour définir un matériau d'un point de vue énergétique il faut prendre en compte trois de ses caractéristiques physiques :

- **Sa masse volumique**, c'est-à-dire sa masse par unité de volume, on parle aussi de densité ;
- **Sa conductivité thermique** qui caractérise la capacité du matériau à faire circuler la chaleur en son sein ;
- **Sa capacité thermique massique** qui permet de quantifier la capacité d'un matériau à absorber la chaleur sans trop s'échauffer.

A l'aide de ces caractéristiques nous pouvons déterminer des informations essentielles sur les matériaux à utiliser.

#### a. L'inertie thermique

Elle s'obtient en faisant la produit de la masse volumique par la capacité thermique et elle représente le potentiel d'un matériau ou d'un bâtiment à conserver sa température.

L'inertie thermique est une caractéristique essentielle pour assurer une ambiance climatique confortable pour les occupants du bâtiment. **En effet, un bâtiment à forte inertie thermique accumulera de la chaleur pendant la journée et pourra la restituer la nuit pour assurer une température moyenne.**

## b. L'effusivité

Il s'agit de la capacité d'un matériau à absorber ou à céder la chaleur. Un matériau avec une forte effusivité, comme la pierre ou le métal, va céder beaucoup de chaleur et semblera froid au toucher et sera donc appréciable dans un climat chaud.

En revanche, dans un climat froid on préférera utiliser du bois et des fibres végétales au toucher chaud grâce à leur faible effusivité.

## c. Diffusivité

La diffusivité caractérise la rapidité d'un transfert de chaleur d'un point à un autre d'un matériau. Elle est proportionnelle à la conductivité thermique mais inversement proportionnelle à l'inertie du matériau.

Ce sont la diffusivité (la vitesse de propagation de la chaleur dans le matériau) et l'effusivité (l'aptitude du matériau à échanger de la chaleur avec son environnement) qui déterminent l'inertie thermique d'un matériau.

Le temps que mettra un matériau à restituer sa chaleur est appelé déphasage thermique.

Au-delà de leurs capacités à retenir la chaleur et à la diffuser, **un bâtiment bioclimatique devra privilégier des matériaux à faible empreinte écologique**. Ils devront idéalement avoir subi le moins de transformations lors de leur production qui seront de préférence locale et renouvelable. De plus, ils ne devront pas avoir d'impact négatif sur la santé que ça soit pour leur production ou durant le reste de leur cycle de vie.

### 2.2.3. Gestion de l'eau

La gestion de l'eau sera également importante. Le bâtiment devra posséder des systèmes de récupération d'eau pluviale et idéalement des systèmes pour recycler l'eau usée et l'ECS.

*A titre d'exemple, concernant la gestion de l'eau, une technologie développée par « Toopi Organics » qui permet de récupérer les urines des détenus et du personnel du centre pénitentiaire pour en faire des fertilisants tout en économisant une importante quantité d'eau.*

*Cela permettrait à l'établissement pénitentiaire de s'inscrire dans un véritable projet d'intégration à son environnement. En effet, la zone de Loire-Authion est rurale et possède de nombreuses exploitations agricoles qui pourraient faire bon usage de cette technologie.*



FIGURE 2 : CUVES DE TRAITEMENTS DES URINES

*Une autre start up, « Topager », propose d'installer des toitures végétalisées qui peuvent être composés de plantes comestibles ou simplement de faire des toitures de types « prairie » qui permettent de favoriser la biodiversité tout*

en récupérant les eaux de pluies. Le double intérêt d'une telle toiture, serait donc de récupérer les eaux de pluies et de diminuer la température de la terrasse et ainsi optimiser le fonctionnement des éventuels panneaux solaires.

## 2.3. Contexte environnemental de l'établissement pénitentiaire

### a. Ensoleillement et pluviométrie du site

Le graphique ci-dessous indique l'évolution des températures à Loire-Authion en 2021 en fonction des mois comparés aux moyennes nationales.

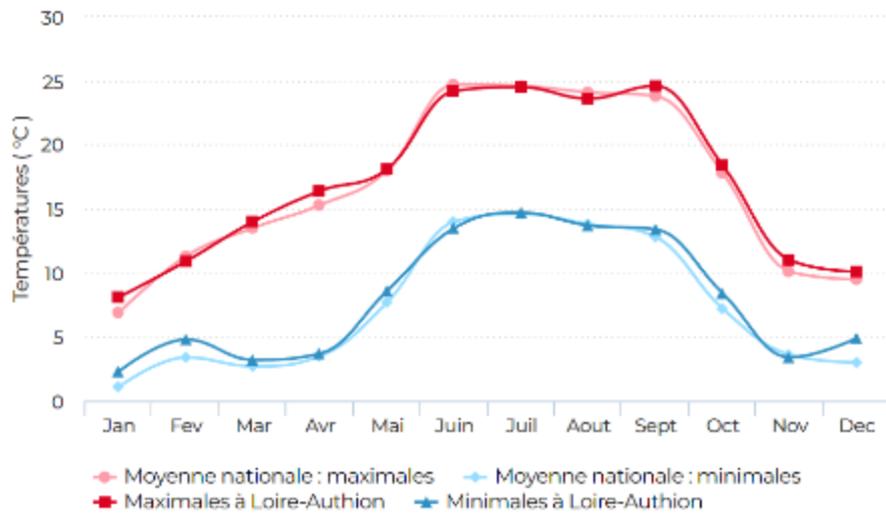


FIGURE 3 : MOYENNE DES TEMPÉRATURES SUR L'ANNÉE 2021

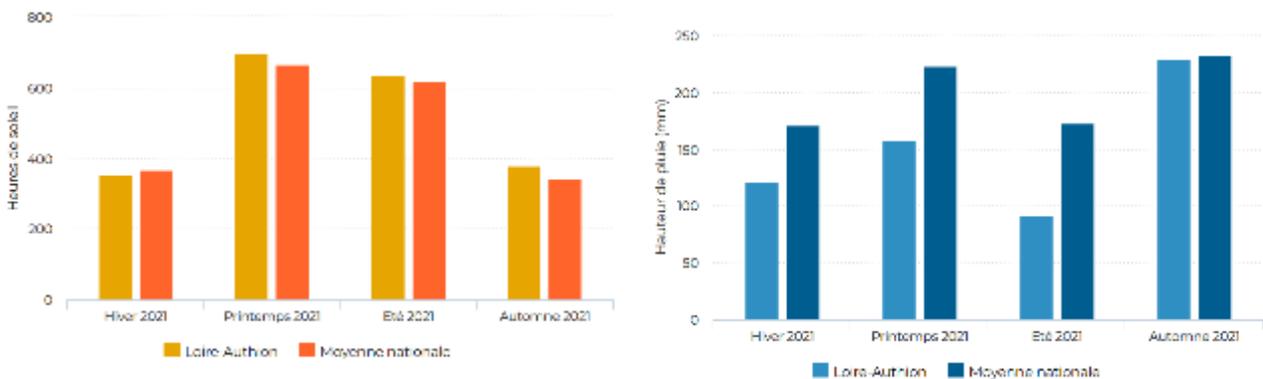


FIGURE 4 : ENSOLEILLEMENT (GAUCHE) ET PLUVIOMÉTRIE (DROITE) DE L'ANNÉE 2021

La station météo de référence indique un ensoleillement de 2062h (3% de plus que la moyenne nationale) et une pluviométrie de 598 millimètres de pluies contre une moyenne nationale de 799 mm.

La commune de Loire-Authion bénéficie d'un climat sub-océanique avec des hivers assez doux et pluvieux et des étés assez chauds. La température moyenne du mois le plus froid (janvier) était de 3°C en 2021 et celle du mois le plus chaud (septembre) était de 25°C. L'hiver est un peu plus doux que dans l'intérieur de la France en raison de la proximité de l'océan, en revanche le ciel est souvent nuageux, l'humidité élevée et le vent peut souffler assez

fort en fonction des périodes. En été, les températures sont douces ou agréablement chaudes et de fortes vagues de chaleurs peuvent avoir lieu.

**Il faut donc rester vigilant lors des périodes de canicules ou de grand froid afin d'éviter que les matériaux qui constituent le bâtiment ne se détériorent.**

Il est important de s'assurer que les arrivées d'eau potable sont bien protégées et qu'il y a un éclairage de secours au cas où il y aurait une rupture des lignes électriques.

## **b. Les risques naturels**

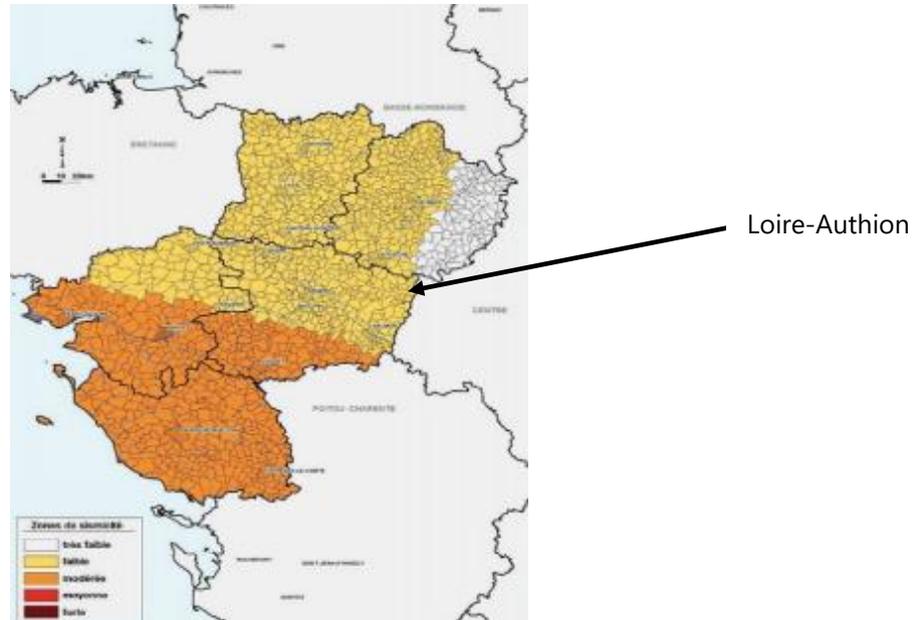
Les risques décrit ci-dessous concerne toute la commune de Loire-Authion.

### Risque d'inondation :

Les inondations de la Loire sont des inondations de plaine régulières et progressives, plus ou moins rapides en fonction de la topographie et des aménagements du bassin versant, par suite de pluies importantes et durables provoquant le débordement du cours d'eau. Les dernières crues les plus importantes du fleuve sont celles de 1919 et 1982 et celle de référence est la crue de 1856. Sur la base de ces crues, un plan de prévention du risque d'inondation a été mis en place.

L'analyse réalisée pour l'étude de dangers des digues n'indique pas que le changement climatique aura un impact sur les crues.

### Risque sismique :



**FIGURE 5 : CARTE DES ZONES SISMIQUES**

L'ensemble du territoire de la commune de Loire-Authion est située en zone de sismicité faible sur la carte délimitant ces risques sur le territoire national, en application du décret ministériel du 22 octobre 2010.

Il n'y a donc pas de réglementation particulière à ce niveau-là, même si le gouvernement conseille :

- D'effectuer une étude de sol pour connaître les caractéristiques du terrain,
- De s'éloigner des bords de falaise, pieds de crête et pentes instables afin d'éviter des risques d'éboulements et de glissement de terrain

- Prendre en compte la nature du sol (sol dur/sol mou) ;
- Privilégier les formes simples et la compacité du bâtiment ;
- Distribuer les masses et les raideurs de façon équilibré pour limiter les effets de torsion ;
- Fixer les éléments non structuraux (cloisons, plafonds, luminaires, équipements techniques, ...) ;
- Utiliser des matériaux de qualité.

#### Risque Radon :

Le territoire de la commune de Loire-Authion est situé en zone moyenne de catégorie 2, sur l'arrêté ministériel du 27 juin 2018, portant délimitation des zones à potentiel radon du territoire français. Les communes à potentiel radon de catégorie 2, sont celles sur lesquelles des conditions géologiques particulières peuvent localement faciliter le transfert du radon depuis la roche jusqu'à la surface du sol. Il conviendra de s'assurer de la qualité des sols auprès d'experts avant toutes nouvelles constructions, et d'apporter les mesures correctives ou préventives appropriées de réduction de toute exposition aux concentrations de radon à l'intérieur des bâtiments.

#### Historique des catastrophes :

Le tableau ci-dessous répertorie toutes les « catastrophes naturelles » qui ont eu lieu à Loire-Authion depuis les années 1980.

Risque	Date début	Date fin
Inondations et coulées de boue	08/12/1982	31/12/1982
Mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse	01/05/1989	31/03/1992
Inondations et coulées de boue	17/01/1995	31/01/1995
Inondations	25/12/1999	29/12/1999
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	01/07/2003	30/09/2003
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	01/07/2005	30/09/2005
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	01/07/2009	30/09/2009

On peut constater sur le tableau ci-dessus que les inondations et les mouvements de terrains sont les seuls risques qu'il y a eu depuis 1982.

Une vigilance particulière sera à porter à ce type de risque.

#### **c. Les vents dominants**

Il faut noter que cette zone géographique peut-être touchée par des tempêtes (vents ayant une vitesse supérieure à 89 km/h). Météo France publie tous les jours des bulletins réactualisés et assure la vigilance Météo en mettant à disposition de la population une carte de vigilance.

Les vents les plus violents sont dirigés vers l'est. Si la décision est prise d'utiliser des éoliennes dans ce projet, il faudra alors les orienter dans cette direction.

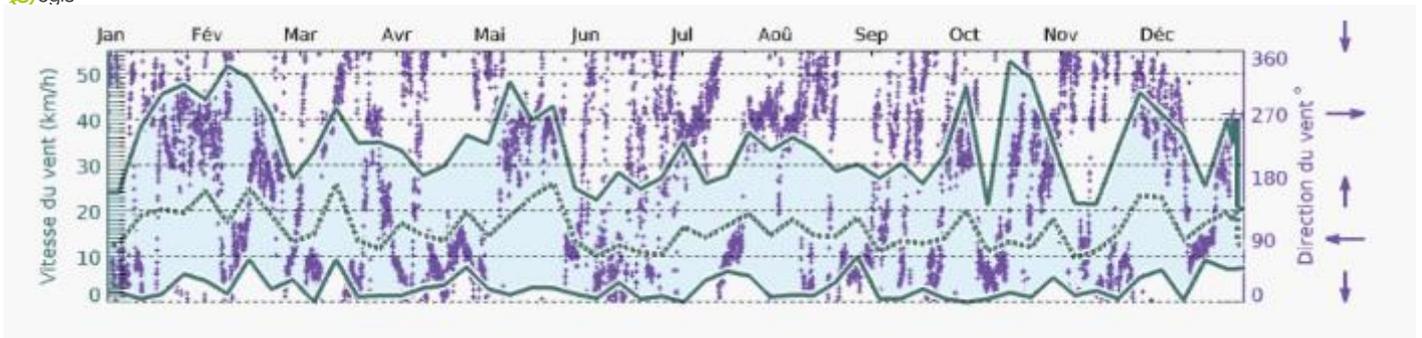


FIGURE 6 : CARTE DE LA VITESSE ET DE LA DIRECTION DES VENTS EN FONCTION DES MOIS DE L'ANNÉE 2021

#### d. Topographie

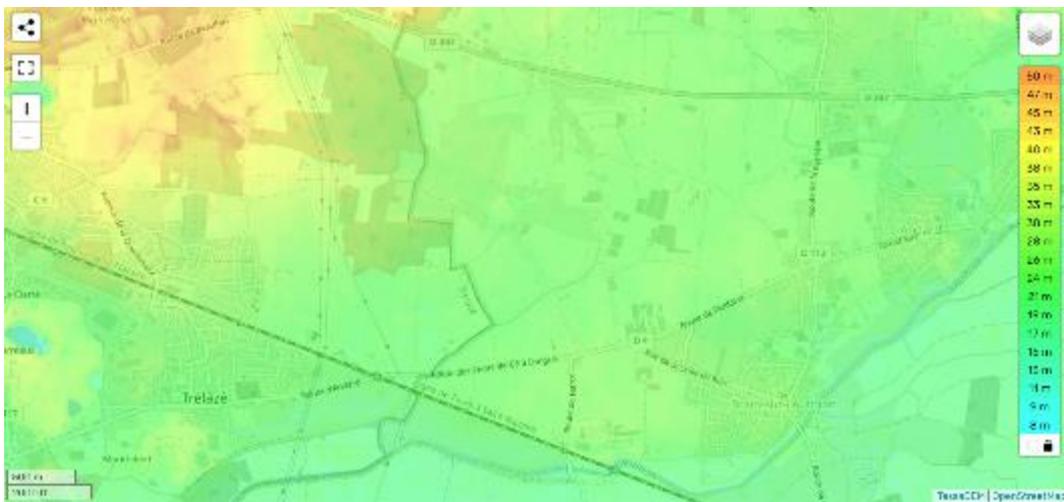


FIGURE 7 : TOPOGRAPHIE DE LOIRE-AUTHION

Nous pouvons constater que la commune de Loire-Authion est à très faible altitude, environ 21m en moyenne, ce qui explique également le risque d'inondation.

e. **Nature du sol**

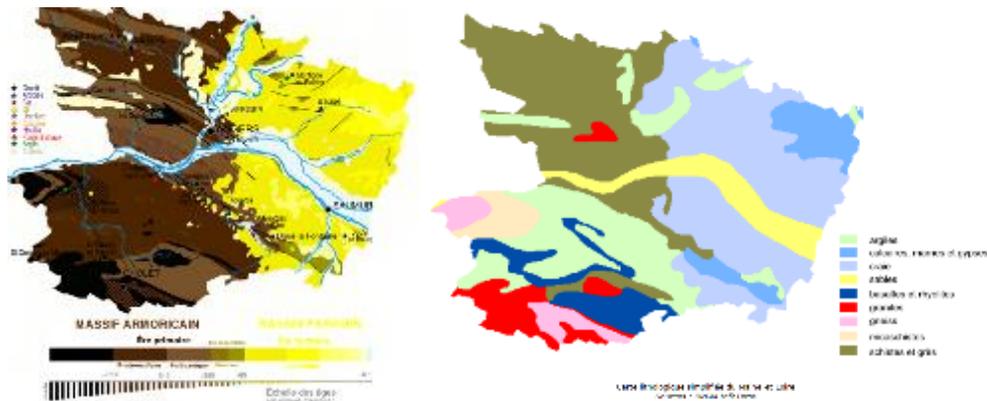


FIGURE 8 : CARTES INDIQUANT LES MINES ET LES CARRIÈRES DU MAINE-ET-LOIRE (GAUCHE) ET LA NATURE DES SOLS DU MAINE-ET-LOIRE (DROITE)

Loire-Authion est situé à la frontière entre le Bassin parisien et le Massif armoricain.

Le Bassin parisien est constitué de sols calcaires, de sables, de grès, de tuffeau et de faluns coquilliers. L'exploitation intensive du tuffeau, une roche poreuse à la fois légère et solide, est à l'origine de nombreuses galeries souterraines dont on ne connaît pas précisément la longueur ou la délimitation topographique. La forte exploitation du falun, une roche sableuse, à donner naissance à de grandes chambres dites « cathédrales » avec des voûtes culminant à plus de 20m.

Le Massif armoricain quant à lui, est constitué de schistes, de gneiss et de granite.

**La frontière entre ces deux zones s'appelle la « faille du Layon » et possède un profil géologique complexe.**

f. **Synthèse**

Dans le cadre de la construction d'un établissement pénitentiaire, il sera particulièrement difficile de permettre une bonne entrée de lumière dans les bâtiments de détention du fait des éléments de sécurités nécessaires pour prévenir des éventuelles évasions.

En revanche d'autres points abordés ci-dessus seront à mettre en œuvre pour conserver au maximum la chaleur et permettre de limiter les consommations.

Le sol de l'établissement pénitentiaire devra ainsi avoir une teinte sombre et une teinte claire pour le plafond.

Il sera également nécessaire d'installer une ventilation mécanique correcte, idéalement à double flux afin d'optimiser la chaleur accumulée à l'intérieur du bâtiment.

En ce qui concerne les matériaux, il serait judicieux d'utiliser des matériaux avec une bonne inertie thermique et une faible effusivité.

Dans le contexte actuel, nous suggérons, comme indiqué dans la première partie de ce rapport de construire le bâtiment en respectant la RT 2020. Ainsi, tous les bâtiments construits depuis 2020 doivent être des « BEPOS », c'est-à-dire des « Bâtiments à énergie positive » et afin d'atteindre ces objectifs, nous suggérons plusieurs matériaux :

- La fibre de bois, qui permet d'atteindre de très haut niveau d'isolation une faible épaisseur. Dans le cadre de la construction d'un établissement pénitentiaire, il faudra prendre de la fibre de bois traitée contre le feu pour offrir une meilleure résistance en cas d'incendie ;
- La ouate de cellulose qui possède également un grand potentiel isolant et qui est principalement utilisée pour isoler les combles ;
- La laine de roche en rouleau qui est aujourd'hui dans les meilleurs isolants thermiques disponible sur le

marché. Elle offre une très bonne résistance au feu et à la chaleur ainsi qu'une bonne efficacité et un bon rapport qualité/prix intéressant. En revanche, elle n'offre pas un confort optimal en période estivale et doit être remplacée tous les 15 ans.

- Le polystyrène extrudé qui est principalement utilisé pour isoler le sol des constructions neuves.
- Du double vitrage renforcé argon pour les menuiseries extérieures.

Au-delà des matériaux cités ci-dessus, le tableau en annexe 1 donne une liste non exhaustive des différents matériaux que l'on peut utiliser pour la construction du centre pénitentiaire et qui sont biosourcés. Leur cycle de vie a donc un faible impact sur l'environnement car ils sont issus de matières organiques renouvelables.

De plus, une technologie appelée « Cool Roof » pourrait également être intéressante à utiliser.

Cool Roof est une société française qui propose des solutions pratiques et durables pour permettre au plus grand nombre de rafraîchir les bâtiments.

Leur système « Cool Roof » est un revêtement de toiture qui permet d'éviter la surchauffe provoquée par le rayonnement solaire, en bloquant la chaleur induite avant sa pénétration dans le bâtiment. Cela permet d'améliorer le confort thermique des bâtiments, de diminuer l'utilisation de la climatisation et donc de réduire l'impact sur l'environnement. Il permettrait de diminuer jusqu'à 15°C la température subie en été.



FIGURE 9 : SYSTÈME DE FONCTIONNEMENT (GAUCHE) ET TOITURE AYANT APPLIQUÉE LE REVÊTEMENT (DROITE)

Le système serait intéressant à utiliser en parallèle des panneaux solaires car ces derniers seront plus performants si la surface de la toiture reste fraîche.

Vis-à-vis de la construction en elle-même, étant donné la composition incertaine du sol, une étude poussée sera nécessaire pour déterminer sa vraie nature. Il faudra également être très vigilant quant à la présence de galeries souterraines ou de nappes phréatiques sub-affleurantes.

Le site étant sujet au risque radon, il sera nécessaire de s'assurer qu'il n'y en a pas dans le sol avant de construire. Par ailleurs, le site étant sujet aux mouvements de terrains à la suite des fortes pluies qui suivent les périodes de sécheresse, il faudra que la construction soit faite en conséquence.

En ce qui concerne les conditions de températures estivales et hivernales, les moyennes sont inférieures à celles nationales il n'y a donc pas de mesures spécifiques à prendre.

Bien qu'il y ait un risque de tempête dans la zone, la vitesse des vents reste limitée.

### III. LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE

#### 3.1. Elaborer une stratégie énergétique

Lors de l'élaboration d'une stratégie énergétique il faut prendre en compte diverses notions en mettant toujours en priorité d'éviter la surconsommation. En effet, bien que l'utilisation d'énergies renouvelables soit très intéressante pour lutter contre l'utilisation des énergies fossiles, nous rencontrons toujours des difficultés à la stocker. Il faut donc bien dimensionner ses installations pour ne pas produire plus d'énergie que nous en avons besoin.

Afin de pouvoir mener à bien une stratégie énergétique il est important de respecter les trois points suivants :

1. Supprimer les gaspillages coûteux et dispensables
2. Réduire au maximum les pertes énergétiques ;
3. Exploiter les énergies renouvelables

#### 3.2. Adapter la stratégie énergétique aux besoins du site

Dans le cas de cette étude nous nous intéressons à un établissement pénitentiaire. De ce fait, les besoins énergétiques de ce site ne sont pas semblables à ceux de bâtiments tertiaires ou de logements « classiques ».

Des études ont montré que les postes les plus consommateurs d'énergie dans un établissement pénitentiaire sont l'éclairage et la ventilation.

En effet, la température réglementaire dans l'établissement pénitentiaire étant de 19°C, les consommations de chauffages sont limitées. En revanche, les nouvelles réglementations, imposent une douche par cellule (donc une douche pour un, ou deux détenus au maximum). Ainsi, il est probable que les consommations ECS soient plus conséquentes que sur des sites comparables actuellement en fonctionnement

Il faudra donc mettre en place des systèmes pour permettre de limiter les besoins d'éclairage et de ventilation.

Les énergies renouvelables, bien que nécessitant des investissements importants en premier lieu, permettent d'améliorer le bilan environnemental de l'opération par rapport à des approvisionnements en énergie conventionnelle.

## IV. INVENTAIRE DU POTENTIEL EN ÉNERGIES RENOUVELABLES

### 4.1. La géothermie

Il existe trois différents types de géothermie selon la profondeur : la géothermie à très faible et faible énergie (température inférieure à 90°C), la géothermie de moyenne énergie (température supérieure à 90°C) et la géothermie de haute énergie (température supérieure à 150°C).

La géothermie permet la production d'eau chaude ou tempérée à partir des ressources énergétiques du sous-sol.

En fonction de la profondeur à laquelle va le forage, l'énergie géothermique peut permettre d'alimenter des immeubles en chauffage et en eau chaude, voir d'alimenter directement en électricité des villes entières.

La géothermie peut donc être aussi bien utilisée pour le chauffage des logements que dans l'industrie. Le tableau ci-dessous indique les différents usages de la géothermie en fonction de la température et donc de la profondeur du forage.

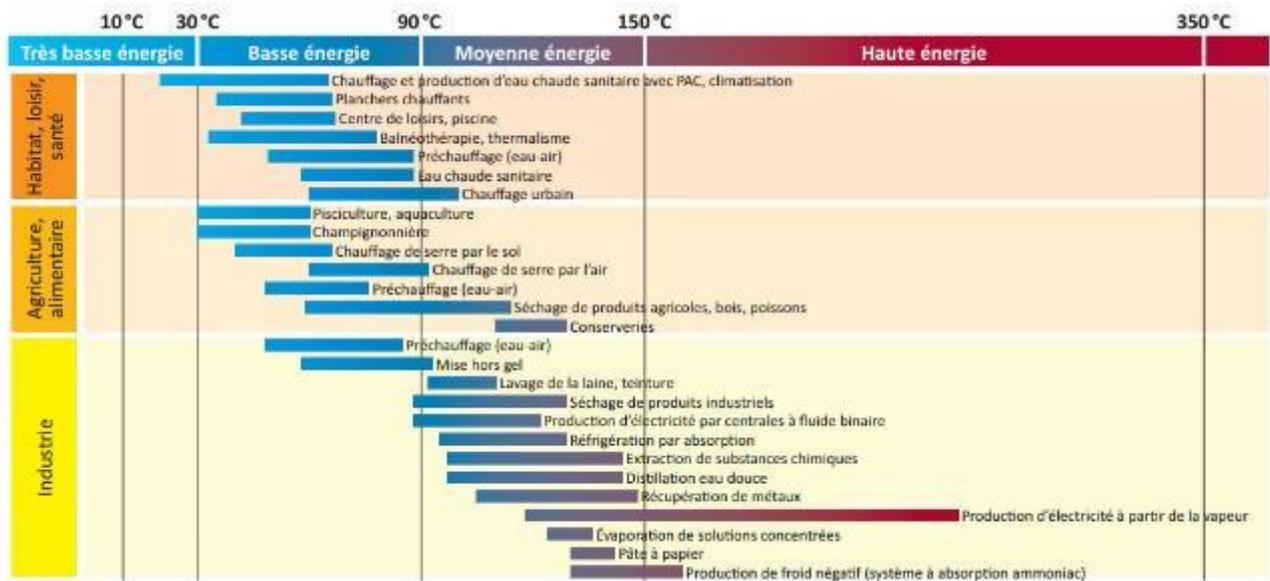


FIGURE 10 : LES DIFFÉRENTES UTILISATIONS POSSIBLE DE LA GÉOTHERMIE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

#### 4.1.1. Géothermie moyenne et haute énergie

Ces types de géothermie nécessitent des forages à plus de 2500 m de profondeur.

#### Application au projet :

Les besoins du projet ne justifient pas l'installation de ce type de géothermie. Cette solution n'a donc pas d'intérêt à être approfondie.

**Potentiel de la ressource** : Faible

**Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système** : Non

**Pertinence de la solution** : Nulle

#### 4.1.2. Géothermie basse Energie

Comme indiqué en introduction, la géothermie très basse énergie permet généralement le chauffage, le rafraîchissement de locaux ou, dans certains cas, la production d'eau chaude sanitaire.

Plusieurs solutions d'utilisation de la géothermie sont possibles :

- Si la présence d'une nappe exploitable est confirmée par un forage de reconnaissance : puisage et pompe à chaleur tirant parti de la température stable de l'aquifère,
- Dans tous les cas : pompe à chaleur et sondes géothermiques disposées en nappe horizontale dans des tranchées, ou sous forme de pieux verticaux.

##### a. Géothermie sur nappe

Le développement de la géothermie pourra s'appuyer sur les potentiels des nombreuses nappes de la région. La géothermie sur nappe bénéficie aujourd'hui d'un fort retour d'expérience aussi bien pour des opérations de surface que plus profondes.

Son principe consiste à prélever des calories (ou des frigories) dans la nappe qui présente une température assez stable toute l'année pour la transférer, via une pompe à chaleur, vers un circuit de chauffage (ou de climatisation), moyennant une faible dépense d'énergie.

Pour cela, on utilise un doublet géothermique composé :

D'un puits de pompage de l'eau, qui permet d'alimenter le circuit et de fournir, selon la saison, des calories (en hiver) ou des frigories (en été), la nappe restant sensiblement à la même température toute l'année ;

D'un forage de réinjection, qui permet de restituer l'eau dans sa nappe d'origine, avec le même débit que le pompage mais à une température différente (plus basse en hiver et plus élevée en été, au maximum 30°C)

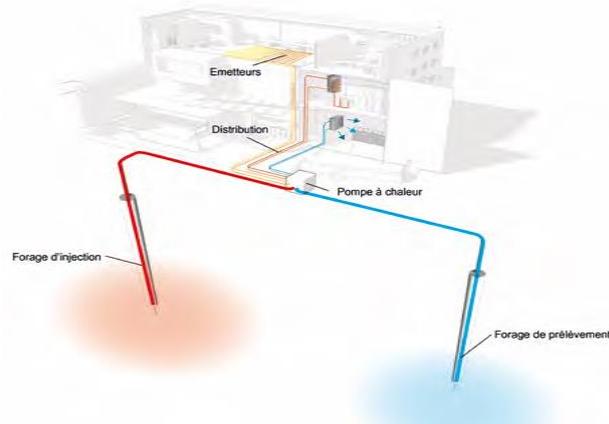


FIGURE 12 : SCHÉMA D'UN SYSTÈME DE GÉOTHERMIE SUR AQUIFÈRE

Malgré les ressources, pour les utiliser, il est très souvent nécessaire de rehausser son niveau de température. Des équipements de type PAC et des émetteurs de chaleur adaptés sont alors mis en place.

En hiver la pompe à chaleur permet d'extraire les calories de la ressource et d'augmenter la température récupérée.

En été, le système est réversible. La PAC permet d'extraire les calories des locaux et de les transmettre dans la nappe.

La performance globale de la pompe à chaleur sera meilleure si le milieu où elle puise l'énergie est à une température la plus constante et la plus élevée possible au cours de l'année et si la température de distribution de chauffage est basse.

Leur utilisation est ainsi conseillée pour des bâtiments neufs qui peuvent être équipés avec ce type de système.

**Potentiel de la ressource :** Moyen

**Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système :** Oui eau chaude

**Pertinence de la solution :** Moyenne

## b. Géothermie sur pieux

La géothermie sur champ de sondes consiste à faire circuler, en circuit fermé, un liquide caloporteur dans plusieurs sondes verticales.

Ce champ est constitué d'un réseau de tubes, disposés à la verticale dans des forages, qui échange l'énergie (par simple transfert de chaleur) et l'achemine jusqu'à la pompe à chaleur.

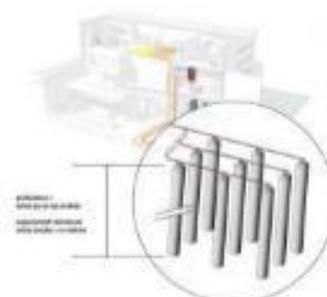


FIGURE 13 : GÉOTHERMIE SUR PIEUX (SOURCE : BRGM)

Étant donné que la ressource est à une température inférieure à 30°C, celle-ci ne permet pas, dans la plupart des cas, une utilisation directe de la chaleur par simple échange. Elle nécessite donc la mise en œuvre de pompes à chaleur qui prélèvent cette énergie à basse température dans le sous-sol pour l'augmenter à une température suffisante. La pompe à chaleur permet les modes de fonctionnement suivants :

- Distribution de froid et de chaud si des besoins simultanés existent dans le bâtiment ;
- Distribution de chaleur dans le bâtiment et stockage de frigories dans le sol ;
- Distribution de froid dans le bâtiment et stockage de chaleur dans le sol.

Une profondeur de 100 m est suffisante pour s'affranchir des variations de température journalières et saisonnières où règne une température constante d'une quinzaine de degrés. Ce type de sonde correspond à une puissance géothermique de l'ordre de 5 kW.

Pour éviter un investissement et un nombre de sondes trop importants, on associe généralement ce système à une énergie d'appoint.

Cette solution est à l'échelle d'un bâtiment et ne permet de couvrir que des besoins limités. Elle ne pourra pas contribuer à l'approvisionnement énergétique de l'ensemble du site, compte tenu du nombre de pieux à mettre en place. De plus, il est nécessaire de maintenir un équilibre chaud/froid pour ne pas déséquilibrer l'équilibre thermique du sous-sol.

Cette solution n'a pas d'impact notable sur le projet (aménagement) :

Les pieux géothermiques seront installés en fondation ou sur le terrain du bâtiment. Des locaux techniques devront être envisagés dans chaque bâtiment pour l'installation des équipements techniques.

Application de la géothermie très basse énergie sur le projet :

Ce type d'installation est possible dans la majorité des régions. Le potentiel énergétique dépend de la conductivité du sol. Cependant, le potentiel des pieux géothermiques reste limité, de l'ordre de 40 W/ml (la variation est généralement comprise entre 40 à 60 W/ml).

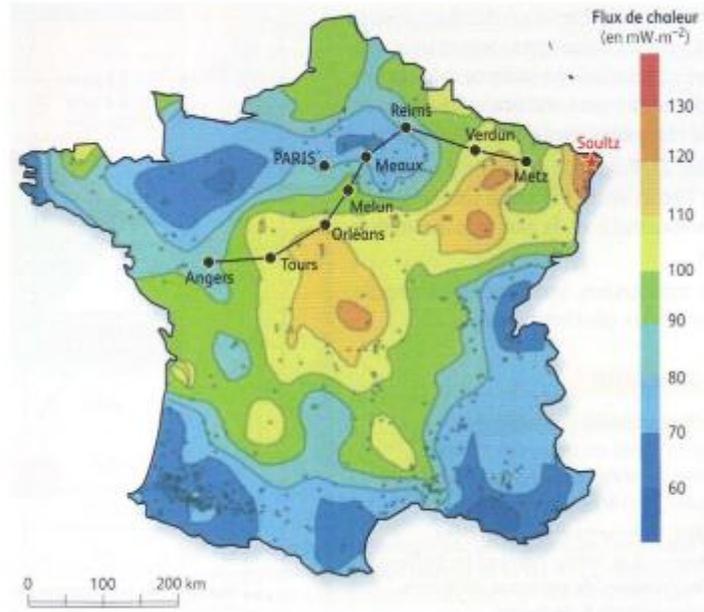


FIGURE 14 : CARTE DES FLUX GÉOTHERMIQUE EN FRANCE

Le flux géothermique correspond à une certaine quantité d'énergie libérée à la surface du globe ; il s'exprime en  $W/m^2$  et dépend du gradient géothermique et de la conductivité thermique des roches du sous-sol. Il présente donc des valeurs différentes selon la région étudiée.

On peut remarquer sur cette carte que le flux de chaleur au niveau d'Angers est d'environ  $80^\circ C$  et grâce à l'image ci-dessous, nous pouvons conclure que parmi les quatre systèmes de géothermie, un seul de ces systèmes est exploitable à Loire-Authion : la géothermie très basse énergie (**géothermie sur aquifère superficiel et géothermie sur sonde**).

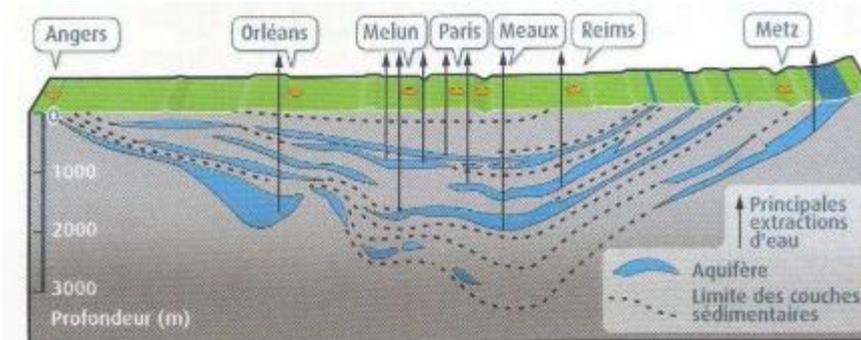


FIGURE 15 : LOCALISATION ET PROFONDEUR DES AQUIFÈRES DE LA ZONE

Cette conclusion est appuyée par les résultats d'un forage réalisé rue du vallon à Angers en 2016 par terrendis (mis en ligne sur le site « infoterre ») à 100m sous terre qui a trouvé une température exploitable d'environ  $22^\circ C$ . Le forage se situe à 14km de Loire-Authion, ce qui est relativement éloigné, il faudrait réaliser un forage à proximité du site pour confirmer les conclusions.

<p><b>Potentiel de la ressource :</b> Moyen</p> <p><b>Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système :</b> Non potentiel limité au bâtiment</p> <p><b>Pertinence de la solution :</b> Moyenne</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 4.2. Les énergies de récupération

### 4.2.1. Récupération de chaleur sur eaux grises passives

Compte tenu des usages locaux d'eau (douche, cuisine, blanchisserie), les détenus et le personnel de l'établissement pénitentiaire vont rejeter des eaux usées d'une température moyenne comprise entre 10 et 20°C.

Il serait donc judicieux de réutiliser les calories présentes dans cette eau pour préchauffer l'eau non utilisée. L'eau utilisée lors d'une douche par exemple, passe dans un échangeur qui va réchauffer l'eau froide avant qu'elle n'arrive dans le ballon ECS. Ce type de dispositif possède un temps de retour intéressant, souvent de l'ordre de 3 à 6 ans et permet de réduire les consommations ECS de 20 à 30%.

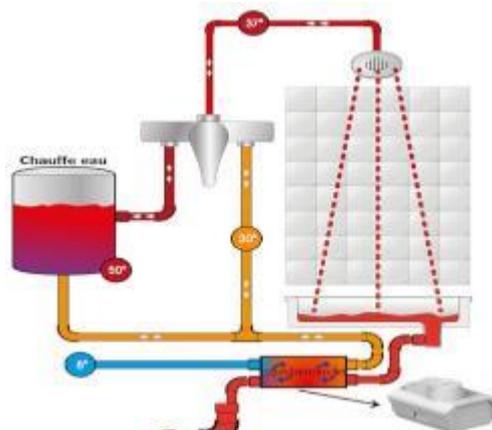


FIGURE 16 : SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR EAUX GRISES

<p><b>Potentiel de la ressource :</b> Moyen</p> <p><b>Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système :</b> Nulle. Potentiel limité au bâtiment</p> <p><b>Pertinence de la solution :</b> Forte</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 4.2.2. Production de chaleur à l'aide des eaux grises du site

Ce type d'équipement est constitué d'un échangeur eau/eau et d'une pompe à chaleur. Il présente un intérêt pour les cas où il existe, sur un même site, rejets et besoins d'eau chaude. Les eaux usées sont

filtrées (graisses et résidus) puis stockées dans une cuve isolée à 30°C. Les eaux usées passent dans la PAC (Module thermodynamique) à une température moyenne de 30°C et ressortent à 7°C. L'eau provenant d'un ballon de préchauffage passe, via le circuit condenseur de la PAC (module thermodynamique) de 10°C à 58°C pour la production d'eau chaude sanitaire. Il serait possible de couvrir 100% des besoins en ECS avec cette installation.

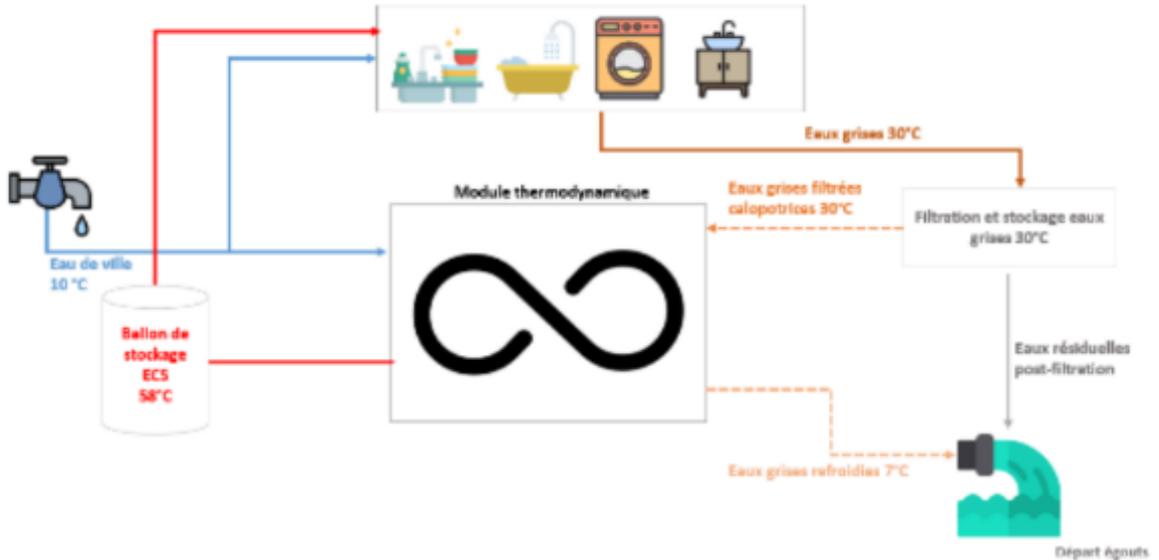


FIGURE 17 : PRODUCTION DE CHALEUR À L'AIDE DES EAUX GRISES

#### Application sur le projet

Ce type d'équipement permet une récupération de chaleur sur les eaux grises à l'échelle d'un bâtiment. Il faut savoir qu'il n'existe qu'un modèle unique d'une puissance de 40 kW thermique. Cette solution serait judicieuse à installer sur le bâtiment car elle permettrait de diminuer la consommation en eau qui sera très importante.

<p><b>Potentiel de la ressource</b> : Moyen</p> <p><b>Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système</b> : Non potentiel limité au bâtiment</p> <p><b>Pertinence de la solution</b> : Forte</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 4.2.3. Récupération de chaleur sur les eaux usées et eaux vannes

Sur le périmètre du projet, il est prévu la mise en œuvre d'un bassin tampon pour équilibrer les effluents d'eaux usées, en flux et en température.

Pour le dimensionnement du bassin tampon, il est préconisé une plage horaire de 4 heures, correspondant à un volume de 100 m<sup>3</sup> environ.



Les systèmes de récupération sur eaux usées permettent donc, via un échangeur thermique, de récupérer les calories dans les canalisations d'évacuations d'eaux usées et de les transférer aux bâtiments via une pompe à chaleur.

**Les conditions techniques pour permettre une récupération optimale sont les suivantes :**

- **Débit minimal de 15L/s sur le tronçon**
- **Diamètre du tronçon supérieur ou égal à 80 cm (phi 800)**
- **Distance de 300m entre la récupération et la zone d'utilisation.**

**Nota : l'échangeur de chaleur ne doit pas refroidir les eaux usées de plus de 3°C sous peine d'impacter le fonctionnement des processus de la station d'épuration.**

### **Application au projet**

Compte tenu du projet de zone tampon à proximité de l'établissement, un potentiel existe localement. Etant donné les usages thermiques sur le bâtiment, la chaleur produite pourra être valorisée

**Potentiel de la ressource :** Fort (à confirmer lors de la définition du projet de zone tampon)

**Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système :** Non potentiel limité au bâtiment

**Pertinence :** Fort

## **4.3. La biomasse**

L'énergie biomasse est la principale source d'énergie renouvelable en France. Cette biomasse est issue de la forêt, de l'agriculture et déchets de la restauration, de la distribution, des stations d'épuration, etc.

### **4.3.1. Chaufferie bois**

#### **a. Gestion des ressources en bois dans les Pays de la Loire**

Les Pays de la Loire possède 367 000 ha de forêts. Il s'agit d'une des premières régions de France en ce qui concerne les activités de transformation du bois. La récolte de bois en Pays de la Loire, tous usages confondus, est voisine de la moitié de la production biologique des peuplements forestiers. Le bois-énergie est la principale source d'énergie renouvelable des Pays de la Loire avec une production de 4025 GWh en 2018.

Le bois est utilisé pour différents secteurs d'activités, comme le montre l'illustration ci-dessous.

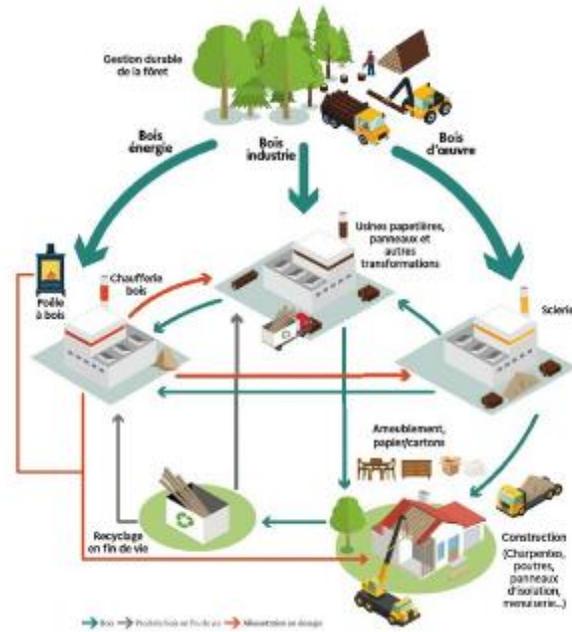


FIGURE 18 : CYCLE DE PRODUCTION ET D'UTILISATION DU BOIS

Les Pays de la Loire compte 478 chaufferies en fonctionnement au 01 septembre 2022. La carte ci-dessous représente la répartition des chaufferies bois et des réseaux de chaleurs utilisant du bois en fonctionnement.

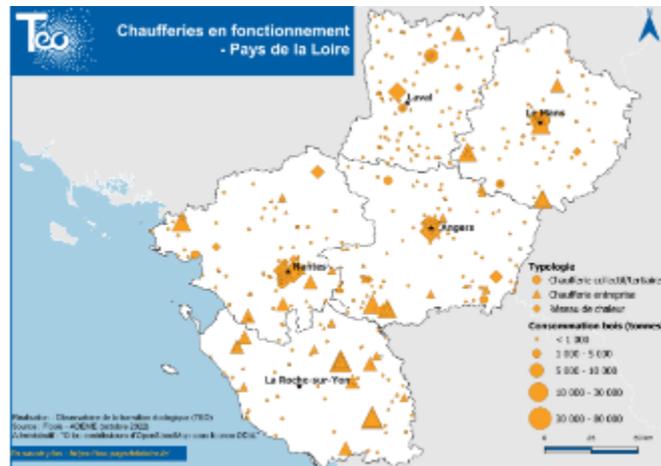


FIGURE 19 : CHAUFFERIES EN FONCTIONNEMENT DANS LES PAYS DE LA LOIRE

On peut remarquer qu'il y a déjà des chaufferies bois en fonctionnement à Angers et en périphérie, ce qui signifie qu'il y a déjà des systèmes d'acheminements du bois qui sont développés. Les circuits d'approvisionnement locaux sont donc adaptés au développement d'un tel projet sur l'établissement, notamment grâce à la présence d'une plateforme de stockage du bois à proximité d'Angers.

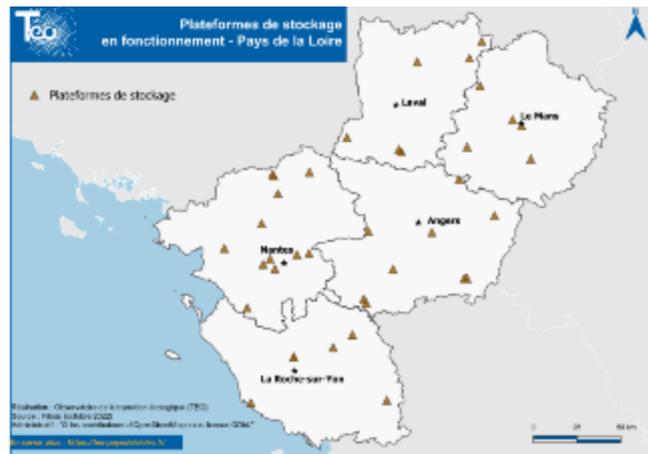


FIGURE 20 : PLATEFORMES DE STOCKAGE DU BOIS

### b. Les installations techniques

Les chaufferies biomasse mobilisant du bois-énergie sont des équipements dont la durabilité et la performance a été prouvée à travers de nombreux exemples sur le territoire.

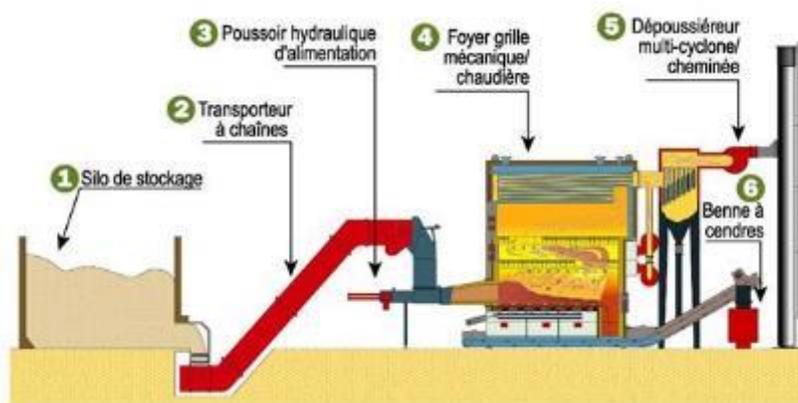


FIGURE 21 : SCHÉMA DE PRINCIPE BOIS ÉNERGIE

Compte tenu de la puissance mobilisée sur le projet, ce type de projet implique une consommation de bois importante et donc un approvisionnement en combustible en conséquence.

Si le concepteur du bâtiment décide de s'orienter sur cette solution, il faudra bien prendre en compte les accès pour les livraisons, et les surfaces dédiées aux locaux techniques et au stockage dans le/les bâtiments.

Plusieurs types d'installations sont envisageables :

#### - **Chaufferie plaquette**

Une chaufferie plaquette utilise le combustible bois sous la forme de plaquettes forestières ou bois déchiqueté. La proximité de la ressource sera privilégiée pour ne pas annuler le bénéfice énergétique et environnemental par des coûts de transport.

#### - **Chaufferie à granulés de bois**

La chaufferie à granulés de bois fait appel à un combustible issu du compactage des sous-produits de la transformation du bois (comme la sciure ou les copeaux) qui sont affinés, séchés et ensuite compressés pouvant alimenter chaudière, poêle et insert. Ce type de chaufferie a généralement un intérêt financier pour

### - **Cogénération bois**

La cogénération bois permet la production locale d'électricité. Avec un rendement électrique de 25% et un rendement thermique de 55%, ce système assure de bonnes performances. Cependant, les quantités de bois utilisés seront très importantes comparativement à une chaufferie bois classique.

### **Application au projet**

Au vu des projets existants, en cours de réalisation ou programmés en Maine-et-Loire, la ressource des Pays de la Loire en biomasse-bois est déjà très mobilisée.

La proximité de la ressource sera privilégiée pour ne pas annuler le bénéfice énergétique et environnemental par des coûts de transport.

Avec le soutien important des autorités publiques pour le développement de nouvelles chaufferies bois et compte tenu des puissances appelées, la mise en place d'une chaufferie bois énergie alimentée par des plaquettes est envisageable à l'échelle du centre pénitentiaire.

<p><b>Potentiel de la ressource</b> : Fort</p> <p><b>Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système</b> : Non potentiel limité au bâtiment</p> <p><b>Pertinence de la solution</b> : Forte</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **4.3.2. Méthanisation des déchets**

La méthanisation (ou « digestion anaérobie ») est une technologie basée sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène.

Cette dégradation effectuée au sein d'une cuve appelée « digesteur » aboutit à la production :

- D'un produit humide, le « digestat », riche en matière organique partiellement stabilisée. Sous réserve de respect d'exigences de qualité agronomique et sanitaire, il est susceptible d'être épandu sur des terres agricoles ou peut devenir, après une phase de compostage et de maturation, un amendement organique ;
- De biogaz, mélange gazeux composé d'environ 50% à 70% de méthane, qui, épuré et enrichi, peut être valorisé sous différentes formes (électricité, chaleur, carburant) en tant qu'énergie de récupération.

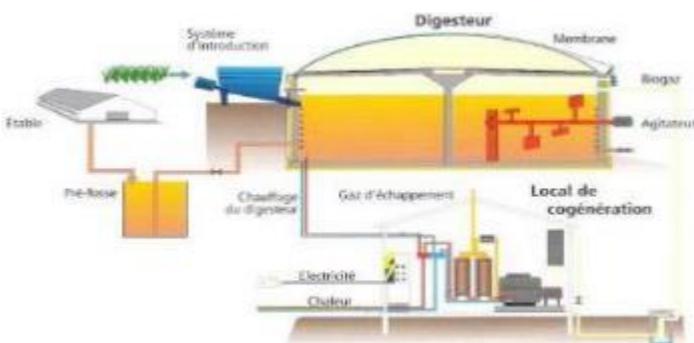


FIGURE 5:

ILLUSTRATION D'UNE INSTALLATION DE MÉTHANISATION

Compte tenu de l'échelle du projet, une méthanisation spécifique au projet n'est pas envisageable. La méthanisation ne trouve son sens que dans le cadre d'un projet de territoire.

A Andard et à La Daguenière (deux communes déléguées de Loire Authion) seront mis en service d'ici 2024 deux méthaniseurs producteurs de biométhane, à hauteur de 26 GWh/an en valeurs cumulées.

Un projet de micro-méthanisation propre à l'établissement peut être envisageable pour la gestion des biodéchets de l'établissement.

**Potentiel de la ressource** : Faible

**Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système** : Oui mais très limité

**Pertinence de la solution** : Moyenne

## 4.4. L'énergie solaire

### 4.4.1. Potentiel local

Déjà mentionné plus haut dans ce rapport, le site possède un bon ensoleillement. Afin d'aller plus loin nous allons prendre en compte non seulement la durée d'ensoleillement mais également l'irradiation globale horizontale ainsi que l'irradiateur totale reçue en une année par une surface d'un m<sup>2</sup> inclinée de 35°C.

Pour ce faire, nous allons utiliser deux logiciels, CALSOL et PVGIS. CALSOL va nous fournir l'irradiation globale horizontale c'est-à-dire l'énergie lumineuse réelle reçue du Soleil à la surface de la Terre durant une période donnée en tenant compte des phénomènes météorologiques.

Le logiciel PVGIS quant à lui propose des données d'ensoleillement directement sur la zone d'étude grâce à un algorithme permettant d'estimer l'irradiation en fonction des données mensuelles moyennes relevées pour des ciels dégagés et couverts, en fonction des ombrages dus au relief. Les résultats sont ensuite croisés avec une autre base de données européenne reprenant des données relevées au niveau du sol.

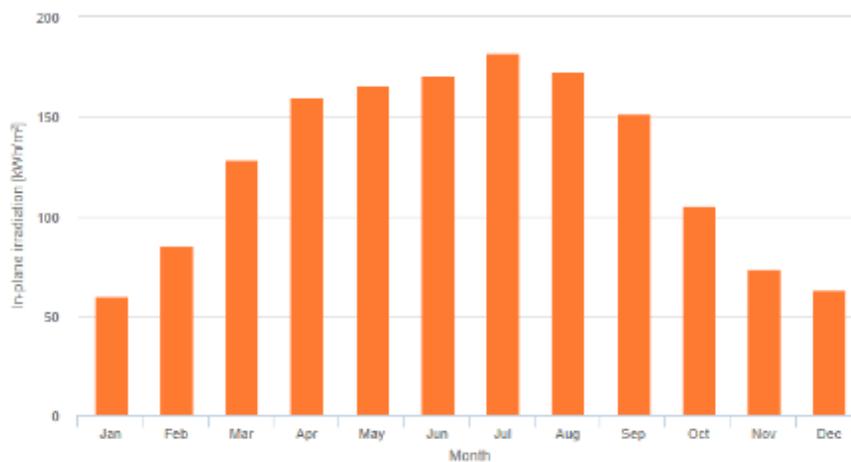


FIGURE 22 : IRRADIATION DU SITE SUR L'ANNEE 2021 EN FONCTION DES MOIS

La station de référence révèle une durée d'ensoleillement de 2062 h en 2021, ainsi qu'une irradiation totale reçue en une année sur 1m<sup>2</sup> incliné à 35° de 1509.82 kWh/m<sup>2</sup>.

Le potentiel régional en énergie solaire est donc favorable aux installations de type solaire thermique ou photovoltaïque : c'est une ressource exploitable pour le site.

Lors de la construction de l'établissement pénitentiaire, il faudra être vigilant à l'orientation et à l'exposition du bâtiment. En effet, les bâtiments, dont l'orientation de la toiture est en deçà du sud-est et au-delà du sud-ouest, sont considérés comme n'étant pas favorables à l'implantation de capteurs solaires. Il sera également nécessaire de bien délimiter l'espace qui peut être alloué à l'installation solaire.

#### 4.4.2. Solaire thermique

La technologie solaire thermique consiste à récupérer de l'énergie solaire, connue pour son intermittence, afin de répondre à des besoins.

Les capteurs solaires transforment le rayonnement solaire en chaleur grâce à un absorbeur : un corps noir caractérisé par des propriétés d'absorption très élevées et d'émissivité très basse. Celui-ci transfère la chaleur à un fluide caloporteur circulant au travers de chacun des capteurs.

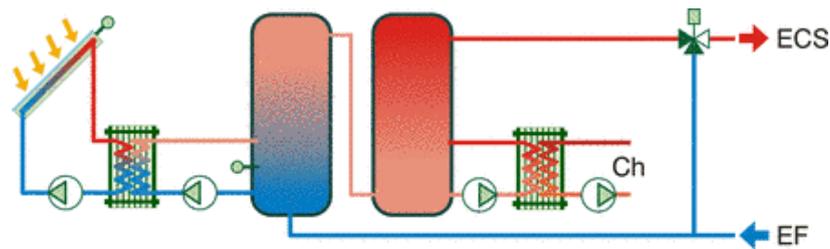


FIGURE 23 : SCHÉMA D'UN DISPOSITIF DU SOLAIRE THERMIQUE

Lorsque la différence de température entre la sonde du capteur et la sonde en fond de ballon dépasse quelques degrés, les circulateurs s'enclenchent.

Le fluide caloporteur, circulant dans le circuit primaire, achemine alors l'énergie solaire depuis les capteurs vers le ou les ballons de stockage à travers un échangeur. Les installations sont ainsi dimensionnées au regard des besoins. Ces derniers se différencient en deux catégories :

- Les besoins calorifiques

Après avoir capté l'énergie solaire, la chaleur ainsi produite alimente le réseau d'ECS ou de chauffage du bâtiment permettant de couvrir une partie des besoins d'eau chaude sanitaire ou de chauffage.

- Les besoins frigorifiques

L'énergie délivrée par les systèmes solaires peut également être utilisée par des machines de production de froid ou de traitement d'air pour produire de l'énergie frigorifique permettant d'assurer le rafraîchissement des locaux.

#### **Application sur le projet**

Généralement, cette solution est économiquement intéressante pour des bâtiments disposant d'un besoin en eau chaude suffisamment important et régulier. C'est le cas pour le centre pénitentiaire qui aura d'importants besoins en eau chaude aussi bien pour les douches, que la cuisine ou encore pour la blanchisserie.

**Potentiel de la ressource : Bon**

**Pertinence : Forte**

#### 4.4.3. Solaire photovoltaïque

Le solaire photovoltaïque consiste à transformer l'énergie solaire en énergie électrique par l'intermédiaire de cellules photovoltaïques. Ces cellules peuvent être disposées sur des panneaux rigides ou intégrées dans un support souple.

L'installation est raccordée au réseau pour la revente de l'électricité ou stockée dans une batterie pour un équipement autonome.

Différentes implantations de panneaux photovoltaïques sont envisageables :

- **Bâtiment** (Toiture, garde-corps, terrasse, brise-soleil, verrière, façade, bardage, pergola)
- **Ombrière** (notamment sur planning)
- **Eclairage extérieur et abords** (luminaires solaire autonomes)

L'utilisation de luminaires autonomes vise à répondre des besoins électriques très limités et alimenter des appareils électriques. Ce type d'installation peut ainsi garantir l'autonomie énergétique d'un lampadaire. Il sera nécessaire d'étudier les ombrages afin de déterminer la production solaire des différents lampadaires selon leur lieu d'installation.

La pertinence de l'installation de panneaux photovoltaïques ou de supports souples photovoltaïques sur un bâtiment existant est évaluée à partir de :

- La disponibilité de la toiture (surface importante peu ou pas encombrée) ou de la façade (présence ou nécessité de brise-soleil) ;
- Les objectifs de végétalisation définis sur le bâtiment ;
- L'orientation et l'ombrage du site (apports maximums et contrôle des masques des autres bâtiments).

#### Limite réglementaire

Il n'y a pas de contrainte réglementaire locale particulière pour la mise en place de panneaux photovoltaïques.

#### Application sur le projet

L'ensoleillement étant supérieur aux moyennes nationales, il serait judicieux de mettre en place des panneaux solaires sur le bâtiment, qui pourrait permettre de combler une partie des dépenses énergétiques de l'établissement pénitentiaire, sachant que certains éclairages vont fonctionner en continu toute la journée et toute la semaine.

Pour optimiser la mise en place de panneau solaire il faudra qu'ils soient orientés plein sud (éventuellement sud-ouest ou sud-est) avec un angle de 30° par rapport à la surface.

**Potentiel de la ressource** : Localement important avec surfaces disponibles en toiture

**Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système** : Oui revente électricité ou autoconsommation

**Pertinence** : Forte

Remarque :

L'article 11 du projet de loi relatif à l'accélération des énergies renouvelables, qui est en cours de discussion à l'assemblée, pourra rendre obligatoire la mise en place d'ombrières de panneaux solaires photovoltaïques sur les parkings. Les parkings de 80 places et plus seront concernés par cette obligation à partir du 1er juillet 2023, si toutefois le projet de loi est validé.

#### 4.4.4. Le solaire hybride

Le panneau solaire hybride est un système qui fonctionne à la fois avec des capteurs photovoltaïques pour produire de l'électricité et des capteurs thermiques pour produire de la chaleur.

Sur la face supérieure des panneaux, côté soleil, des cellules photovoltaïques produisent de l'électricité à partir des rayons solaires. Sur la face inférieure, des capteurs solaires thermiques captent la chaleur émise par le soleil. Grâce à un fluide caloporteur, ils la transportent jusqu'à un ballon de stockage.

Un panneau solaire hybride permet donc de produire à la fois de l'électricité et de la chaleur.

On distingue deux types de panneaux solaires hybride :

- Les panneaux solaires hybrides à air

Dans ce type de panneau, on retrouve à l'arrière de ce dernier un système de ventilation qui permet de récupérer l'air chaud et de la diffuser dans le bâtiment ou dans un ballon thermodynamique. Ce système permet donc de chauffer le bâtiment tout en diminuant la température des panneaux qui fonctionnent moins bien à haute température.

- Les panneaux solaires hybrides à eau

Il s'agit du même principe que la technologie du dessus, cependant au lieu de récupérer de l'air chaud, le système génère de l'eau chaude. Cette eau chaude peut être injectée dans des radiateurs à eau où dans un ballon pour faire de l'eau chaude sanitaire.

Le fait que ces deux techniques permettent de faire baisser la température des panneaux joue un rôle important dans leur rendement. En effet, on constate que les panneaux solaires hybrides ont un rendement 13% supérieur de celui des panneaux « classique » mentionnés plus haut. En revanche, leur coût est supérieur de 30% à 40%.

#### **Application sur le projet**

Le rendement est meilleur mais le coût d'installation est plus important que pour les autres panneaux. Cependant, afin de promouvoir le développement et la construction de bâtiments BEPOS, le gouvernement a mis en place des aides pour l'installation de technologies de ce type, il serait donc judicieux d'étudier son utilisation dans le cas du centre pénitentiaire.

Si cette solution est sélectionnée il faudra être très vigilant à l'orientation des panneaux ainsi qu'à leur inclinaison. De plus, les retours d'expérience sur cette technologie sont limités, de même que le nombre de fabricants.

**Potentiel de la ressource** : Localement important avec surfaces disponibles en toiture

**Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système** : Oui revente électricité ou autoconsommation

**Pertinence** : Forte

#### 4.4.5. EMS

Un bureau d'étude français, EMS, a lancé son nouveau projet SOLARIS qui permet de produire de l'énergie thermique pour les bâtiments. Il s'agit d'un système où un fluide caloporteur est réchauffé par concentration du rayonnement solaire et qui va suivre le déplacement du soleil durant la journée en comparaison avec les systèmes classiques.

C'est un système qui permettrait de produire entre 60 et 80 MWh s'il était installé sur une surface de 100 m<sup>2</sup>. EMS indique que le système est produit en circuit court et que les coûts de maintenance sont minimaux.

Ce système pourrait permettre de produire de l'électricité pour une partie du centre pénitentiaire.



FIGURE 24 : PHOTOS DU SYSTÈME SOLARIS

## 4.5. Eolien

Tout comme la mise en place de systèmes cités précédemment, l'implantation d'éolienne peut représenter une opportunité pour la production locale d'électricité. Aujourd'hui dans les Pays de la Loire il existe 139 parcs éoliens installés et 47 autres en cours d'installations. L'éolien fournit 9% de la consommation électrique des Pays de la Loire (2322 GWh en 2020). Bien qu'il soit en plein développement, les contraintes réglementaires liées à la préservation du paysage et au respect de la distance avec les habitations (500m de toute habitation) oriente le développement de cette technologie vers de petits projets.

ZONES	VITESSE DES VENTS (M/S)
 ZONE 1	< 4,5
 ZONE 2	4,5 – 5,5
 ZONE 3	5,5 – 6,5
 ZONE 4	6,5- 7,5
 ZONE 5	> 7,5

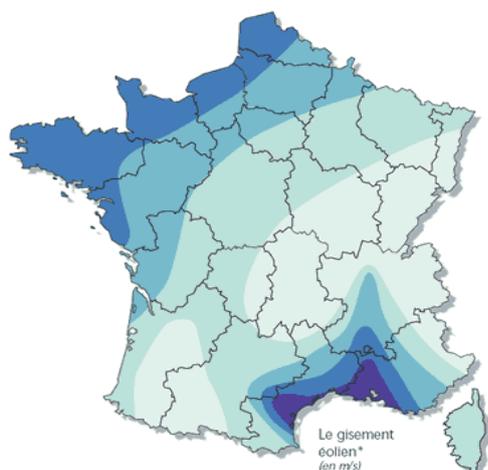


FIGURE 25 : VITESSE DU VENT EN FRANCE (SOURCE : ADEME)

Le futur emplacement du projet se situe en zone 3, soit une vitesse de vent comprises entre 5,5 et 6,5 m/s.

Afin d'étudier au mieux le potentiel éolien, nous avons différencié les nombreuses technologies :

- Petit éolien – hauteur inférieure à 12 mètres (de moins de 1 kW jusqu'à 36 kW)
- Moyen éolien – hauteur comprise entre 12 et 50 mètres (de 36 kW à 250 kW)
- Grand éolien – hauteur supérieure à 50 mètres (de plus de 250 kW)

Nous avons choisi de regrouper ces deux dernières technologies étant donné leurs nombreuses similitudes, notamment au niveau réglementaire.

#### 4.5.1. Grand et moyen éolien



FIGURE 26 : ZONES IMPLANTATION D'ÉOLIENNES RÉGION BRETAGNE

La carte ci-dessus indique en bleu les zones propices au développement de l'éolien. Loire-Authion est donc tout à fait propice au développement de cette énergie dû à un territoire fortement exposé aux vents.

Cependant, la proximité de l'aéroport de Notre-Dame-des-Landes rend la ville d'Angers non favorable au développement des grandes éoliennes. La cartographie ci-dessous, indique que Loire-Authion serait à la frontière de la zone favorable. De la même manière, l'emplacement de l'établissement pénitentiaire serait à la frontière des zones à forte et moyenne sensibilité des unités paysagères. Il faudrait faire une demande aux services concernés afin de savoir s'il serait possible de développer cette technologie.

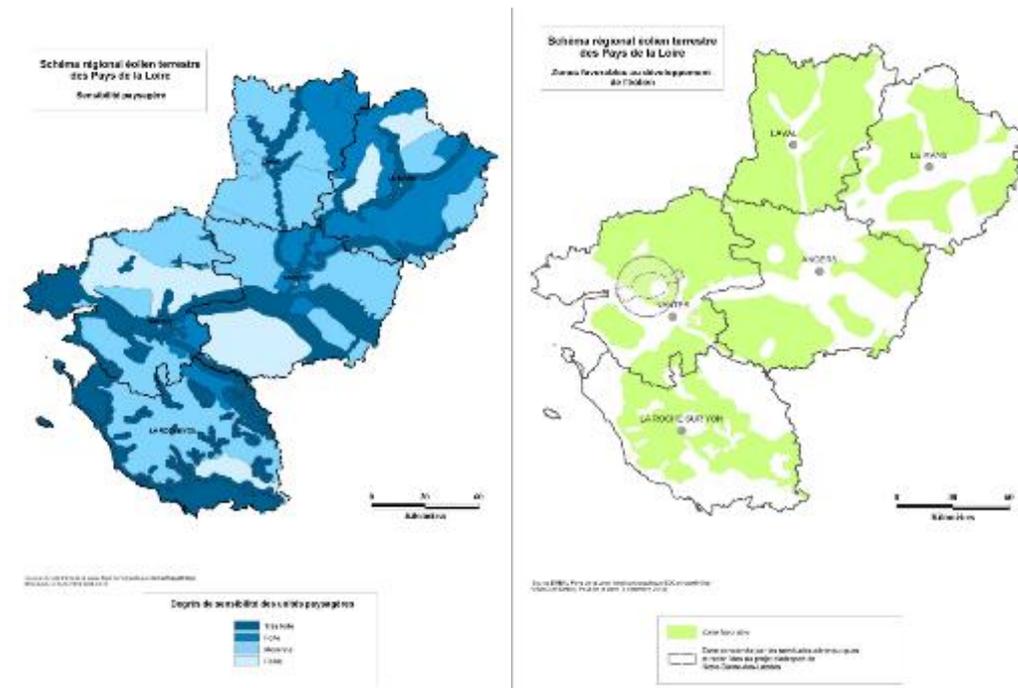


FIGURE 27 : SENSIBILITÉ PAYSAGÈRE (GAUCHE) ET ZONES CONCERNÉES PAR LES SERVITUDES AÉRONAUTIQUES (DROITE)

**Potentiel de la ressource** : Fort à l'échelle du territoire mais à définir dans le cadre du projet

**Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système** : Oui

**Pertinence** : Nulle à l'échelle du site

#### 4.5.2. Petit éolien

Le petit éolien est utilisé pour produire de l'électricité et alimenter des appareils de manière économique et durable, principalement en milieu rural ou en site isolé.

Celui-ci se divise alors en plusieurs applications :

- En toiture

Pour ce type d'application, il est nécessaire de connaître la hauteur des toitures environnantes. De manière générale, le gisement éolien local est bon du fait du faible nombre d'habitations à Loire-Autheion et autour de la zone du futur établissement pénitentiaire.

- Sur l'éclairage d'extérieur

Raccordés au réseau électrique ou bien autonome en site isolé, l'utilisation du petit éolien sur du mobilier vise à répondre à de faibles besoins électriques pour produire, dans cet exemple, de l'éclairage de manière durable. Celui-ci peut être mixé avec une seconde EnR, dans la plupart des cas un module solaire photovoltaïque. Ce type d'installation peut ainsi garantir l'autonomie énergétique d'un luminaire.



FIGURE 28 : EXEMPLES D'APPLICATION DE MICRO-ÉOLIEN SUR LUMINAIRE

Dans cette étude de potentiel, les nombreuses contraintes tendent à nous orienter vers les éoliennes du type Darrieus/Savonius.

Les éoliennes de type Darrieus/Savonius peuvent être soit installées en toiture, soit sur un pylône adjacent au bâtiment. Très peu bruyante, celles-ci ont été conçues pour s'adapter au mieux avec les contraintes engendrées par les turbulences du milieu urbain mais leur performance reste encore limitée.

Cependant, de nouveaux modèles promettent des performances supérieures qui assure un démarrage autonome à partir d'une vitesse de vent de 2 m/s.

*À titre d'exemple, cette gamme d'éolienne a été installée sur le toit de l'Usine Suchard dans le quartier de la Meinau à Strasbourg. La production annuelle estimée est de 7 207 kWh à 18 017 kWh pour une puissance de 2 à 5 kW au regard d'une consommation annuelle du site de 8 313 MWh.*

Une micro-éolienne à axe horizontal peut également être envisagée. Les contraintes sont globalement les mêmes que pour le type Darrieus/Savonius. Grâce à leur design, elles peuvent fonctionner avec des vents provenant de toutes les directions et sont moins soumises aux perturbations que les éoliennes à axe horizontal. Elles sont relativement silencieuses et peuvent facilement s'intégrer au design des bâtiments.

Concernant l'électricité produite, elle peut être :

- Soit consommée immédiatement et le surplus revendu à EDF
- Soit stockée et utilisée ultérieurement

Pour dimensionner précisément le potentiel éolien de la zone, une étude de vents est indispensable (mais pas obligatoire).

### **Application au projet**

Le potentiel local du gisement éolien est important et permettrait d'envisager l'implantation d'installations de type petites éoliennes.

Cependant, la rentabilité de ce type d'installation est faible voire nulle. En effet, l'investissement est très important par rapport à la production d'électricité. Cependant, cette solution semble envisageable dans le cas où le maître d'ouvrage souhaite s'inscrire dans une vision forte et visible de production d'électricité de source renouvelable.

**Potentiel de la ressource** : Moyen

**Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système** : Oui électricité uniquement mais peu pertinent

**Pertinence** : Moyenne

#### 4.5.3. Eolien Urbain

Une startup française appelée "Wind my Roof" fabrique un module compact composé d'une turbine éolienne horizontale et de deux panneaux solaires. Ce module de 4m<sup>2</sup> de largeur pour 1,6m de hauteur est à mettre en place sur l'acrotère de la toiture du bâtiment afin qu'il puisse bénéficier de l'écoulement accéléré du vent contre le bâtiment et d'une bonne exposition au soleil.

Le module peut produire 2000 kWh grâce à l'énergie éolienne et 800 kWh par énergie solaire pour un total de 2800 kWh/an en tout.

Le produit étant développé à 92% en France, il bénéficie d'une très faible empreinte carbone.

Pour optimiser la production d'énergie il faut :

- Une zone venteuse ;
- Une hauteur minimale de 8m ;
- Une densité urbaine modérée ;
- Une bonne orientation par rapport aux couloirs de vent majoritaires.

Tous les critères semblent pouvoir être réunis (à confirmer pour la hauteur du bâtiment) pour installer un tel appareil. Il pourrait venir en complément des installations solaires et éoliennes que nous proposons de mettre en place.



FIGURE 29 : PHOTOS DU SYSTÈME WIND MY ROOF

**Potentiel de la ressource** : Moyen

**Faisabilité d'exportation de la chaleur ou de l'électricité du système** : Oui électricité uniquement

**Pertinence** : Moyenne

## V. SYNTHÈSES DES PISTES ÉNERGÉTIQUES

Le tableau suivant présente la synthèse des résultats de l'évaluation du potentiel EnR. La pertinence de chacune des énergies a été évaluée en fonction des ressources disponibles et des besoins du bâtiment.

	Energie	Pertinence	Remarques
<b>Solaire</b>	Thermique	Fort	Localement important avec des surfaces disponibles.
	Photovoltaïque	Fort	Ensoleillement de la zone supérieur aux moyennes nationales.
	Hybride	Fort	Le site aura de gros besoins en électricité et en chaleur et il possède un bon ensoleillement.
<b>Eolien</b>	Grande et moyenne éolienne	Nulle	Le projet serait intéressant à l'échelle du territoire, mais pas à l'échelle du site.
	Petite éolienne	Moyenne	La rentabilité de ce type d'installation est faible voire nulle.
	Eolien urbain	Moyenne	Le système fonctionne, mais la rentabilité en fonction de l'architecture de l'établissement pénitentiaire est à définir.
<b>Biomasse</b>	Chaufferie plaquettes bois	Fort	La filière bois est très développée dans la région.
	Chaufferie granulée de bois	Fort	
	Méthanisation	Moyen	Le projet n'est pas assez volumineux pour une telle installation. Bon potentiel d'un projet de micro-méthanisation.
<b>Récupération de chaleur fatale</b>	Récupération de chaleur sur eaux grises passives	Fort	Impact positif très important sur les investissements pour la production d'ECS.
	Production de chaleur (PAC eaux grises)	Fort	Impact positif très important sur les investissements pour la production d'ECS.
	Récupération chaleur zone tampon eaux usées/eaux vannes	Forte	A confirmer en fonction du projet de stockage
	Datacenters	Nul	Il n'existe pas de Datacenter à proximité
	Réseaux de chaleur	Nul	Il n'existe pas de réseau de chaleur à proximité du projet
<b>Géothermie</b>	Moyenne et haute énergie	Nulle	Les besoins du site ne justifient pas une telle installation.
	Basse énergie sur nappe	Moyenne	Un diagnostic géotechnique doit être réaliser pour définir le potentiel exact de cette source d'énergie
	Basse énergie sur pieux	Moyenne	Cependant, techniquement, cette solution reste envisageable pour le site.

## VI. ETABLISSEMENT DES DIFFERENTS SCENARIOS

### 6.1. Calcul des besoins énergétiques du site

Le tableau ci-dessous donne le détail des différentes surfaces du futur centre pénitencier :

<b>Zone hors enceinte</b>	<b>2 473</b>
0. Administration hors enceinte	0
1. Les locaux du personnel hors enceinte	1800
2. L'accueil des familles	283
3. Plateforme régionale d'extractions judiciaires	389
<b>Zone en enceinte</b>	<b>45 932</b>
<b>Hors détention</b>	<b>3 953</b>
4. La Porte 1 : piétons et fourgons	836
4. La Porte 2 : flux logistiques	201
5. Les miradors	33
6. Les locaux du personnel en enceinte hors détention	389
7. Greffe	1154
8. Administration	1340
<b>En détention</b>	<b>41 979</b>
10. Les locaux de sûreté (PCD)	50
11. Les parloirs familles	1905
12. Les unités de vie familiale et parloirs familiaux	723
13. Les parloirs avocats	375
14. Les locaux du personnel dans l'enceinte en détention	262
15. Le quartier d'accueil et d'évaluation (Q.A.E.) (40 places)	1695
16. Hébergement courant hommes (MA 100 places)	7627
17. Hébergement courant hommes (MA avec unité pers vuln 100 places)	3833
18. Hébergement courant hommes (CD 140 places)	3936
19. Hébergement courant hommes (Quartier confiance 80 places)	3871
20. L'hébergement spécifique : quartier d'isolement et quartier disciplinaire	1736
21. L'hébergement courant femmes (40 places)	2494
22. Quartier Mineurs (20 places)	0
23. L'Unité médicale	1332
24. Le pôle d'insertion et de prévention de la récidive (PIPR)	2513
25. Les ateliers de production et de formation	4957
26. Les locaux de service à la personne	3452
27. Les locaux de service au bâtiment	403
28. Quartier de prise en charge renforcée	813
<b>Sous-total coût travaux bâtementaire</b>	<b>48 405</b>

Le bâtiment aura une surface totale d'environ 17 hectares, pour 48 405m<sup>2</sup> de bâti et 850 places.

Comme indiqué en première partie de ce rapport, les établissements pénitentiaires ne sont pas soumis à la RT 2012. Cependant, dans une volonté d'exemplarité, afin d'anticiper les exigences de la RE 2020, nous allons estimer que les besoins énergétiques du bâtiment devront être 30% moins élevés que s'il respectait la RT 2012.

Ainsi, la formule pour déterminer le CEPmax du centre pénitencier est la suivante :

$$CEPmax = 50 * M_{ctype} * (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{c surf} + M_{cGES})$$

Avec :

$M_{ctype}$  : Coefficient de modulation selon le type de bâtiment et s'il est climatisée ou non ;

$M_{cgéo}$  : Coefficient de modulation selon la localisation géographique ;

$M_{calt}$  : Coefficient de modulation selon l'altitude ;

$M_{c surf}$  : Pour les bâtiments collectifs d'habitation, coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment ou de la partie du bâtiment ;

$M_{cGES}$  : Coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées

Dans le cas de cette étude, nous avons :

$M_{ctype} = 1.2$  (catégorie CE2, car nous avons fait l'hypothèse que certaines zones du centre pénitencier seront climatisées);

$M_{cgéo} = 1$  ;

$M_{calt} = 0$  ;

$M_{c surf} = 0$  car le bâtiment possède une SRT > 1000 en plus d'être de catégorie CE2.

$M_{cGES} = 0,3$  (dans le cas d'une utilisation locale de bois énergie comme énergie principale)

Par conséquent,  $CEPmax = 78$  kWhEP/m<sup>2</sup>.SDP ; en considérant les 30% d'économies liées aux exigences de la RE 2020, on obtient donc **CEPmax = 54,6 kWhEP/m<sup>2</sup>.SDP**.

**Il est important de noter que cet objectif de consommation est ambitieux et s'intègre dans une réelle démarche de développement durable et de respect de l'environnement.**

En appliquant la surface annoncée pour l'établissement pénitentiaire, nous obtenons une consommation globale à l'échelle du site de 2 642 913 kWhEP/an tous postes confondus.

Dans un établissement pénitentiaire, à la différence d'une habitation classique, les consommations électriques sont très importantes. Par conséquent nous posons les hypothèses suivantes :

- Part chauffage : 30% de la consommation annuelle, soit 16.38 kWhEP/m<sup>2</sup>.SDP ;
- Part ECS : 25% de la consommation annuelle, soit 13.65 kWhEP/m<sup>2</sup>.SDP ;
- Part électricité : 45% de la consommation annuelle, soit 24,57 kWhEP/m<sup>2</sup>.SDP.

## 6.2. Etudes des solutions techniques

Maintenant que nous avons définis les hypothétique besoins énergétiques du futur établissement pénitentiaire, nous allons étudier la faisabilité de quatre scénarios en présentant leur bilan économique et environnemental.

Afin de mener à bien cette étude, nous prendrons les prix de l'énergie indiqués dans le tableau ci-dessous :

	Gaz	Électricité	Bois plaquettes
Prix €HT/MWh	120	170	35

Nous allons également définir la puissance nécessaire des installations à mettre en place pour subvenir aux différents besoins énergétiques du futur bâtiment.

**Le chauffage** fonctionne en saison de chauffe, donc de mi-octobre à mi-mai, ce qui équivaut à 7 mois de fonctionnement sur une plage horaire que l'on définira de 8h à 22h, soit 14h de fonctionnement par jour. Ainsi, le chauffage sera actif 14h par jour pendant 213 jours. **La courbe monotone indique que la puissance maximale appelée, en ajoutant un coefficient de surpuissance de 30%, pour le chauffage sera de 1100 kW.**

Pour **l'ECS**, nous considérons que la demande se fera par plage horaire, à savoir entre 8h et 9h, entre 12h et 13h et encore 18h et 20h avec une demande plus faible en août et **nous avons obtenus une puissance maximale appelée pour l'ECS de 269 kW.**

Nous pouvons ainsi conclure que la puissance nécessaire pour la chaudière qui sera installée pour chauffer et produire l'ECS du futur établissement pénitentiaire devra avoir une puissance de 1369 kW.

Afin de prendre une marge de sécurité dans le dimensionnement, **nous conseillons l'installation d'une puissance totale de 1400 kW pour subvenir aux besoins de chauffage et d'ECS.**

### 6.2.1. Scénario de référence

#### **Description générale**

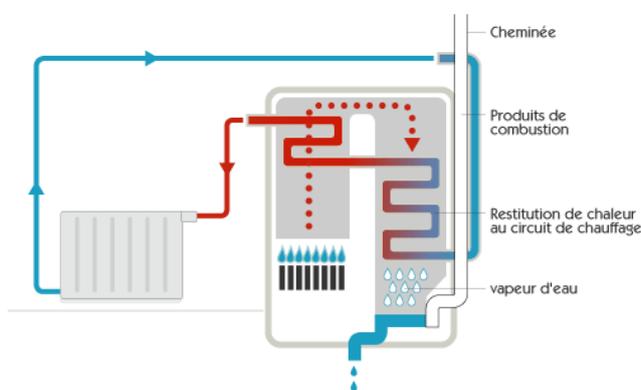
Cette solution a pour objectif de servir de référence pour la comparaison des coûts de chaque solution étudiée dans le cadre de cette étude ENR. L'installation de chaudières gaz ne fait donc pas partie des possibilités que nous suggérons.

#### **Equipements – Chauffage et ECS**

Concernant les équipements de production de chaleur il a été supposé qu'une chaufferie gaz sera dimensionnée pour approvisionner l'ensemble du site qui couvrira l'ensemble des besoins de chaleur et d'ECS.

Une chaufferie d'une puissance totale de 1100 kW sera installée dans des locaux techniques spécifiques.

Les chaudières installées seront des chaudières à condensation qui pourront alimenter selon le cas : des ventilo-convecteurs, des radiateurs à eau chaude, des batteries chaudes de CTA, des aérothermes à eau chaude ...



La puissance totale qui sera à installer sur le centre pénitencier sera d'environ **1400 kW thermique pour couvrir des besoins de 1454 MWh** (chauffage + ECS). Ces hypothèses ne sont pas des dimensionnements techniques précis mais permettent d'évaluer le nombre de systèmes de production à installer.

L'investissement est calculé à l'échelle du projet :

	Description	Coûts	Unité
<b>Investissement</b>	Chaudières à gaz	304 800	€ HT
	Maitrise d'œuvre		
<b>Coûts énergétiques annuels chaud – P1</b>	Gaz	183 613	€ HT /an
<b>Coûts annuels de maintenance P2</b>	Entretien courant	13 000	€ HT /an
<b>Coûts annuels de maintenance P3</b>	GER	12 700	€ HT /an
<b>Coût annuels amortissement investissement P4</b>	Amortissement incluant les aides éventuelles	15 240	€ HT /an
<b>Coût global annuel P1 + P2 + P3 + P4</b>		224 553	€ HT /an
<b>Taux de couverture ENR prod chaud</b>		0	%
<b>Emissions CO2 prod chaud</b>		340	T CO2

Le calcul de l'amortissement P4 est basé sur 20 ans.

A ces coûts, viennent s'ajouter ceux de l'électricité, qui correspondent, d'après nos hypothèses, à 45% des consommations. Il s'agit des consommations des éventuels groupes froids, des éclairages, des cuisines et de tous les appareils électroménagers.

Les consommations électriques correspondent à 24.57 kWhEP/m<sup>2</sup>SDP, soit 1 189 MWhEP/an, soit 461 MWhEF/an.

Avec un coût de l'électricité de 170 MWh, le montant de la facture d'électricité estimé s'élèvera à 78 365 €HT/an.

### 6.2.2. Scénario 1 : Chaufferie bois

Compte tenu des puissances appelées et du potentiel local, la mise en place d'**une chaufferie bois énergie plaquette** est envisageable à l'échelle du projet.

La proximité de la ressource sera privilégiée pour ne pas annuler le bénéfice énergétique et environnemental par des coûts de transport. Le combustible bois nécessite un espace de stockage non négligeable.

#### Rappel des consommations de chauffage et ECS de l'ensemble du site :

	Consommations chauffage MWh/an	Consommations ECS MWh/an
<b>Total</b>	<b>793</b>	<b>661</b>
	<b>1454</b>	

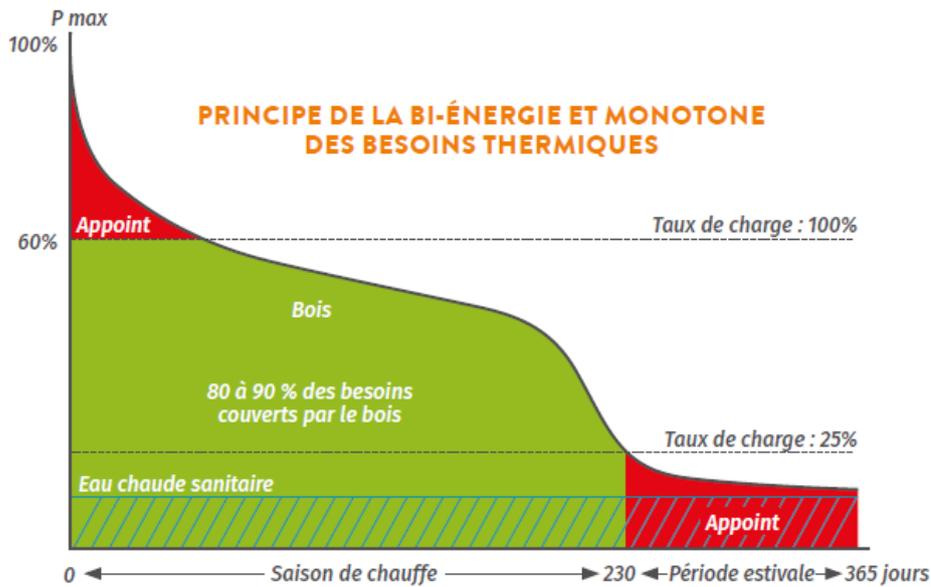
#### Dimensionnement technique :

La chaufferie sera dimensionnée pour approvisionner l'ensemble du site.

Afin d'obtenir des rendements performants entre 80% et 90%, chaque chaudière doit avoir un taux de charge d'au moins 25% de sa puissance nominale. Pour cette raison et pour pallier les opérations d'entretien récurrentes, il est fortement recommandé de mettre en place une chaudière d'appoint ou de secours fonctionnant avec une autre énergie comme le gaz.

La courbe monotone ci-dessous représente la répartition des appels de puissance sur une année. Généralement, un dimensionnement de la chaudière bois aux alentours de 60 % de la puissance thermique maximum permet de couvrir 80% à 90% des besoins annuels.

L'appoint sera réalisé par des chaudières gaz à condensation et assurera la couverture des besoins complémentaires.



Nous établissons donc que ce scénario comporte une chaudière bois d'une puissance de 60% de la puissance maximale appelée, complétée par une chaudière d'appoint gaz.

#### Chaudière bois plaquettes :

<b>Puissance chaudière bois</b>	<b>840</b>	<b>kW</b>
<b>Taux de couverture des besoins</b>	<b>80%</b>	<b>% des besoins thermiques</b>
<b>Energie produite par an</b>	<b>1368</b>	<b>MWh d'énergie finale / an</b>

#### Chaudière à gaz :

<b>Puissance chaudière gaz</b>	<b>560</b>	<b>kW</b>
<b>Taux de couverture des besoins</b>	<b>20%</b>	<b>% des besoins thermiques</b>
<b>Energie produite par an</b>	<b>306</b>	<b>MWh d'énergie finale / an</b>

### **Investissements :**

Les investissements prennent en compte la production de la chaufferie biomasse et l'appoint gaz, ils sont calculés à l'échelle du projet, et le calcul de l'amortissement P4 est basé sur 20 ans :

### **Chaudière bois plaquette :**

	Description	Coûts	Unité
<b>Investissement</b>	Chaufferie bois, appoint gaz	1 420 320	€ HT
	Maitrise d'œuvre		
<b>Coûts énergétiques annuels chaud – P1</b>	Bois + gaz	84 606	€ HT /an
<b>Dépenses annuelles de maintenance P2</b>	Entretien courant	32 500	€ HT /an
<b>Dépenses annuelles de maintenance P3</b>	GER	59 180	€ HT /an
<b>Coût annuels amortissement investissement P4</b>	Amortissement incluant les aides éventuelles	71 016	€ HT /an
<b>Coût global annuel P1 + P2 + P3 + P4</b>		247 302	€ HT /an
<b>Taux de couverture ENR prod chaud</b>		82	%
<b>Emissions CO2 prod chaud</b>		89	T CO2

A ces coûts, viennent s'ajouter ceux de l'électricité, qui correspondent, d'après nos hypothèses, à 45% des consommations. Il s'agit des consommations des éventuels groupes froids, des éclairages, des cuisines et de tous les appareils électroménagers.

Les consommations électriques correspondent à 24.57 kWhEP/m<sup>2</sup>SDP, soit 1 189 MWhEP/an, soit 461 MWhEF/an.

Avec un coût de l'électricité de 170 MWh, le montant de la facture d'électricité s'élève à 78 365 €HT/an.

### 6.2.3. Scénario 2 : Chaufferie bois + solaire thermique

Dans le cadre de ce scénario, les besoins thermiques du bâtiment seront assurés par une chaudière bois couplée à une chaudière gaz d'appoint de la même façon que le scénario 1 avec, en complément, une couverture partielle des besoins d'ECS par du solaire thermique.

Le dimensionnement des panneaux est effectué en fonction des consommations en ECS du centre pénitentier.

Nous avons pris comme hypothèse une couverture de 60% des besoins d'ECS par le solaire thermique. Le calcul est basé sur une consommation énergétique pour la production d'ECS de 661 MWh/an pour l'ensemble de l'établissement pénitentiaire.

<b>Besoins ECS projet</b>	<b>661</b>	<b>MWh/an</b>
<b>Besoins thermiques totaux</b>	<b>1454</b>	<b>MWh/an</b>
<b>Surface de panneaux</b>	<b>1063</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Taux de couverture des besoins</b>	<b>60%</b>	<b>% des besoins d'ECS</b>

Nous prenons ici comme hypothèse qu'il sera possible d'avoir environ 1060 m<sup>2</sup> de panneaux solaire thermiques sur la toiture de l'établissement pénitentiaire.

Les investissements prennent en compte la production (panneaux et ballons), un appoint gaz et la mise en place de la chaufferie bois. L'amortissement des installations est considéré sur 20 ans.

	Description	Coûts	Unité
<b>Investissement</b>	Chaufferie bois, Appoint gaz Solaire thermique Maitrise d'œuvre	2 574 739	€ HT
<b>Coûts énergétiques annuels chaud – P1</b>	Gaz + Bois	61 532	€ HT /an
<b>Dépenses annuelles de maintenance P2</b>	Entretien courant	32 500	€ HT /an
<b>Dépenses annuelles de maintenance P3</b>	GER	107 281	€ HT /an
<b>Coût annuels amortissement investissement P4</b>	Amortissement incluant les aides éventuelles	128 737	€ HT /an
<b>Coût global annuel P1 + P2 + P3 + P4</b>		330 049	€ HT /an
<b>Taux de couverture ENR prod chaud</b>		86	%
<b>Emissions CO2 prod chaud</b>		65	T CO2

A ces coûts, viennent s'ajouter ceux de l'électricité, qui correspondent, d'après nos hypothèses, à 45% des consommations. Il s'agit des consommations des éventuels groupes froids, des éclairages, des cuisines et de tous les appareils électroménagers.

Les consommations électriques correspondent à 24.57 kWhEP/m<sup>2</sup>SDP, soit 1 190 MWhEP/an, soit 461 MWhEF/an.

Avec un coût de l'électricité de 170 MWh, le montant de la facture d'électricité s'élève à 78 365 €HT/an.

#### 6.2.4. Scénario 3 : Chaufferie bois + solaire photovoltaïque + solaire thermique

Pour ce scénario, nous devons estimer la surface de la toiture du futur centre pénitencier qui pourra accueillir des panneaux solaires. Une telle installation permettra de diminuer les importantes consommations électriques du bâtiment.

L'établissement pénitentiaire aura une surface de 48 405m<sup>2</sup>, nous prenons pour hypothèse que 50% de la surface des toitures pourra accueillir des panneaux solaires et que 30% de cette toiture disponible accueillera effectivement des panneaux solaires thermiques et photovoltaïque.

Nous avons établi dans le précédent scénario qu'il fallait 1063m<sup>2</sup> de toiture pour installer les panneaux solaires thermique, ce qui laisse donc **6200 m<sup>2</sup> de terrasses pour mettre en place du solaire photovoltaïque.**

L'objectif serait de permettre de subvenir à 50% des besoins en électricité du centre pénitencier. Cela correspondrait à 231 MWh/an. **Nous suggérons ainsi l'installation de panneaux photovoltaïque d'une puissance de 190 kWc, qui permet de générer 236 MWhEF/an pour une surface de 1013 m<sup>2</sup>.**

Il a été considéré une autoconsommation de l'électricité produite.

	Description	Coûts	Unité
<b>Investissement</b>	Chaudières gaz Panneaux photovoltaïques Solaire thermique Maitrise d'œuvre	2 911 609	€ HT
<b>Coûts énergétiques annuels chaud – P1</b>	Gaz + Bois	61 531	€ HT /an
<b>Dépenses annuelles de maintenance P2</b>	Entretien courant	32 500	€ HT /an
<b>Dépenses annuelles de maintenance P3</b>	GER	121 317	€ HT /an
<b>Coût annuels amortissement investissement P4</b>	Amortissement incluant les aides éventuelles	145 580	€ HT /an
<b>Coût global annuel P1 + P2 + P3 + P4</b>		360 929	€ HT /an
<b>Taux de couverture ENR prod chaud</b>		85	%
<b>Emissions CO2 prod chaud</b>		97	T CO2

A ces coûts, viennent s'ajouter ceux de l'électricité, qui correspondent, d'après nos hypothèses, à 45% des consommations. Il s'agit des consommations des éventuels groupes froids, des éclairages, des cuisines et de tous les appareils électroménagers.

Les consommations électriques correspondent à 24,57 kWhEP/m<sup>2</sup>SDP, soit 1 190 MWhEP/an, soit 461 MWhEF/an.

Avec un coût de l'électricité de 170 MWh, le montant de la facture d'électricité, sans panneaux solaires photovoltaïque, s'élèverait à 78 365 €HT/an. Cependant, comme nous suggérons la mise en place d'une couverture solaire permettant de subvenir à la moitié des besoins en électricité du bâtiment, si ce scénario est sélectionné, le montant de la facture électrique annuelle pour le centre pénitentier sera de 39 183 €HT/an.

### 6.2.5. Scénario 4 : Récupération sur eaux grises PAC

#### Dimensionnement technique

Dans le cadre de ce scénario, 100% des besoins en ECS de l'établissement pénitentiaire sont couverts par le système de récupération active (PAC) de la chaleur sur eaux grises. Les besoins restant en chauffage sont couverts par une production bois avec un appoint gaz.

<b>Besoins ECS totaux</b>	<b>661 MWh/an</b>
<b>Besoins ECS assurés PAC</b>	<b>661 MWh/an</b>
<b>COP PAC</b>	<b>4.5</b>
<b>Puissance électrique totale PAC installée</b>	<b>60 kW</b>
<b>Nombre de PAC de 30 kW installées</b>	<b>2</b>

#### Coûts

Les coûts pour ce scénario sont les suivants :

	Description	Coûts	Unité
<b>Investissement</b>	Système (PAC+ Ballon ECS)	1 554 480	€ HT
	Chaufferie bois		
	Appoint chaufferie Gaz		
	Maitrise d'œuvre		

Coûts énergétiques annuels chaud – P1	Gaz + Electricité + Bois	150 157	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance P2	Entretien courant	32 500	€ HT /an
Dépenses annuelles de maintenance P3	GER	64 770	€ HT /an
Coût annuels amortissement investissement P4	Amortissement incluant éventuelles aides	77 724	€ HT /an
Coût global annuel P1 + P2 + P3 + P4		325 151	€ HT /an
Taux de couverture ENR prod chaud		84	%
Emissions CO2 prod chaud		69	T CO2

A ces coûts, viennent s'ajouter ceux de l'électricité, qui correspondent, d'après nos hypothèses, à 45% des consommations. Il s'agit des consommations des éventuels groupes froids, des éclairages, des cuisines et de tous les appareils électroménagers.

Les consommations électriques correspondent à 24.57 kWhEP/m<sup>2</sup>SDP, soit 1 190 MWhEP/an, soit 461 MWhEF/an.

Avec un coût de l'électricité de 170 MWh, le montant de la facture d'électricité s'élève à 78 365 €HT/an.

Les consommations électriques de la PAC sont indiquées dans le montant du P1.

**Nota : une alternative à ce scénario serait la mise en place d'une récupération de chaleur sur la zone tampon eaux usées/eaux vannes. Les caractéristiques de ce projet ne sont à ce stade pas connues mais ces installations permettraient, sur le même principe, de couvrir une part plus importante des besoins.**

## 2 FOCUS SUR L'ACHAT D'ÉNERGIE VERTE

En complément, pour l'ensemble des scenarios, l'intérêt de contrat d'énergie verte devra être étudié dans les phases ultérieures du projet.

### Electricité verte

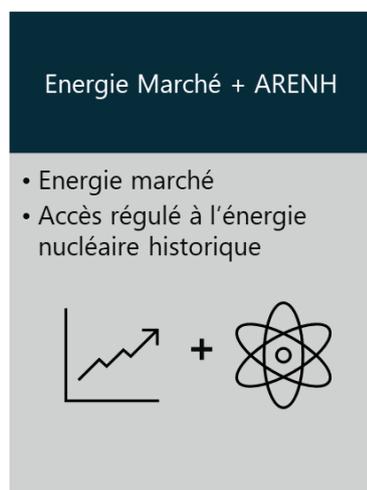
Dans toute l'Union européenne, pour assurer la traçabilité de l'électricité renouvelable, le mécanisme des garanties d'origine est utilisé.

Pour obtenir des garanties d'origine, les fournisseurs peuvent :

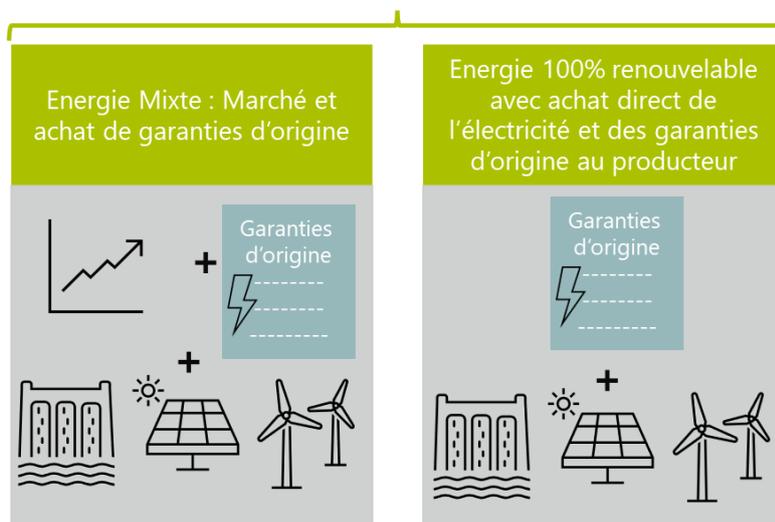
- Acheter de l'électricité d'origine renouvelable à un producteur d'électricité verte et acheter les garanties d'origine au même producteur ;
- Acheter de l'électricité nucléaire ou fossile d'un côté et acheter une quantité équivalente de garanties d'origine à un autre producteur

L'achat d'électricité certifiée par des garanties d'origine ne signifie pas que l'on consomme de l'énergie renouvelable. Cela signifie que pour un 1 kWh d'électricité consommée, un kWh d'électricité verte est injecté dans le réseau. Cela permet de contribuer au développement des énergies renouvelables en Europe.

### Offres classiques



### Offres vertes



### Gaz vert

Pour le gaz vert, le principe est globalement le même. Le gaz vert est généralement issu du biométhane produit dans des unités de méthanisation.

En général, les fournisseurs cherchent à proposer des offres centrées sur les producteurs locaux en commercialisant des offres 100% biogaz régionales. Le biogaz commercialisé en France est souvent produit dans l'Hexagone. Ces contrats permettent de valoriser le gaz vert produit à proximité du projet.

A Andard et à La Daguenière (deux communes déléguées de Loire Authion) seront mis en service d'ici 2024 deux méthaniseurs producteurs de biométhane, à hauteur de 26 GWh/an en valeurs cumulées.

De plus, Loire Authion sera le point d'aboutissement d'un réseau de maillage de 25 km qui sera mis en service en 2024 et dont l'origine sera sur le territoire de la Communauté de Communes Baugeois Vallée où deux méthaniseurs agricoles seront également mis en service fin 2023 – début 2024. Leur production permettra de desservir Baugé en Anjou et aussi les communes de Loire Authion et de l'Est de l'Agglo angevine.

Comme pour l'électricité verte, il est physiquement impossible de déterminer la provenance du gaz livré à un client donné. En effet, c'est le même gaz qui est livré à tous les clients raccordés au réseau gazier, quels que soient le fournisseur et le type d'offre

L'achat de gaz vert certifié par des garanties d'origine ne signifie donc pas que l'on consomme de l'énergie renouvelable. Cela signifie que pour un 1 kWh de gaz consommé, un kWh de gaz vert est injecté dans le réseau gaz. Cela permet de contribuer au développement de la production de biogaz en France.

**Important : l'achat d'énergie verte n'a pas d'impact sur la part d'énergies renouvelables considérée dans la RE2020.**

## VII. SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS

		Scénario réf	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Unité
<b>Investissement</b>		304 800	1 420 320	2 574 739	2 911 609	1 554 480	€ HT
<b>Coûts énergétiques chaud annuels P1</b>	<b>Gaz + Bois + Elec (scénario 4)</b>	183 613	84 606	61 531	61 531	150 157	€ HT /an
<b>Coûts annuels de maintenance P2</b>	<b>Entretien courant + électricité réseau</b>	13 000	32 500	32 500	32 500	32 500	€ HT /an
<b>Coûts annuels de maintenance P3</b>	<b>GER</b>	12 700	59 180	107 281	121 317	64 770	€ HT /an
<b>Coûts annuels amortissement investissement P4</b>	<b>Amortissement</b>	15 240	71 016	128 737	145 580	77 724	€ HT /an
<b>Gains financiers PV</b>		0	0	0	39 182	0	€ HT /an
<b>Coût global annuel P1 + P2 + P3 + P4 - Gains</b>		224 553	247 302	330 049	321 747	325 151	€ HT /an
<b>Taux de couverture ENR prod chaleur</b>		0	82	86	85	84	%
<b>Emissions CO2 prod chaleur</b>		340	89	65	97	69	T CO2

Ainsi, afin de conclure cette étude, **nous conseillons l'installation d'une chaufferie bois**, plus onéreuse que la solution gaz de référence en terme d'investissement mais qui offre une couverture en énergie renouvelable bien plus importante tout en diminuant de manière significative les émissions de CO2. En complément, cette solution permet une meilleure maîtrise des coûts de l'énergie à long terme.

Etant donné le potentiel solaire local, le solaire thermique ou photovoltaïque pourra être intégré sous réserve que :

- La toiture terrasse soit adaptée.
- Il n'y ait pas de problème d'effet de masque sur le bâtiment.
- L'emplacement du parking soit idéal pour capter les rayons du soleil (si le projet de loi de l'article 11 est voté, cf. page 33).

L'étude de ces solutions est cependant basée sur des données macro de besoins. Elle pourra être approfondie dans le cas de faisabilités ultérieures une fois le programme fixé avec précision.

## ANNEXE 1

	<b>Bases</b>	<b>Ecomatériaux</b> <b>Matériaux intermédiaires</b>	<b>Biosourcés/Premiers</b>
<b>Plancher et dalle</b>	Béton Plancher collaborant en acier	Béton bas carbone Granulat béton recyclé	Bois Pierre
<b>Structure porteuse</b>	Béton Acier Briques alvéolaires Brique monomur Briques de terre cuite	Béton bas carbone Béton cellulaire Monomur en pierre ponce	Bois Pierre Brique ou béton de chanvre Pisé (sable et argile) Brique de terre crue Bambous
<b>Charpente</b>	Béton armé Métal		Bois Bambous
<b>Isolation et membrane</b>	Laine de verre Laine de roche Plastiques alvéolaires Produits minces réfléchissants (PMR) Vermiculite Perlite Polystyrène (extrudé ou expansé) Polyuréthane Isolant aérogel de silice Isolant sous vide	Laines mixtes Mélange de fibre de bois et laine de verre Verre cellulaire	Laine de bois Paille (blé, riz...) Panneau de paille compressée Balle de riz Chanvre (laine ou béton), chènevotte Lin (fibre ou laine) Fibre de bois Laine de mouton Plume de canard Coton (de textile recyclé) Ouate de cellulose Fibres de coco Roseaux Liège expansé Miscanthus Argile expansée Laine de fibre de maïs Laine d'herbe Liège expansé et fibre de coco (Corkcoco) Mélange de laine de chanvre et de bois Mélange de laine de chanvre et de coton
	Zinc Bardeau bitumé Tôle (acier)		Ardoise Toiture végétalisée Lauze calcaire Lauze de schiste Tuiles de bois (tavaillon, bardeau)
<b>Revêtements ext. Murs</b>	Terre cuite Béton Métal Bardage PVC Bardage fibro ciment		Bois Pierre Végétaux Ardoise Enduit (terre, chaux, résine naturelle)
<b>Finitions</b>	Peintures en phase solvant	Peintures naturelles (à l'huile, à l'eau, d'origine naturelle) Peintures à la chaux Pigments naturels	

	<b>Bases</b>	<b>Ecomatériaux/biosourcés</b>
<b>Sol</b>	Carrelage Carreaux en céramique Béton Vinylic, PVC Laminé Carreaux de ciment Moquette Résine	Linoéum Moquette recyclée ou naturelle en laine Jonc de mer Sisal Caoutchouc Parquets en bois (massif ou multicouche) Pierre Liège Marmoléum
<b>Cloison</b>	Plaque de plâtre cartonnée Carreaux de plâtre Lambris Cloison vitrée	Brique ou béton de chanvre Brique de terre crue Bois Panneau de paille compressée Liège
<b>Faux plafonds</b>	Métal Plaques de plâtre	Bois Fibre de bois

[www.egis-group.com](http://www.egis-group.com)

