

ETABLISSEMENT PENITENTIAIRE CRISENOY (77)

PRE-FAISABILITE ENERGIES RENOUVELABLES

15 novembre 2022

REF : 2022.0528 E02 B

Rédigé par : M. HENNEQUIN
Validé par : A. GALLEGRO

Sommaire

1	Suivi des versions	3
2	Contexte	4
2.1	Contexte réglementaire	4
2.2	Contexte du site	5
3	Construction de la stratégie énergétique	6
3.1	Stratégie et cohérence avec la transition énergétique et environnementale actuelle	6
3.2	Stratégie adoptée sur le projet	6
4	Analyse des besoins énergétiques	8
4.1	Description des besoins estimés	8
4.2	Programmation	8
4.3	Bilan énergétique	9
5	Inventaire du potentiel en énergies renouvelables	11
5.1	Les réseaux de chaleur	11
5.2	La géothermie	12
5.3	Les énergies de récupération	15
5.4	La biomasse	17
5.5	L'énergie solaire	19
5.6	L'éolien	22
5.7	Bilans atouts / contraintes	23
6	Proposition de scénarios énergétiques à étudier	25
6.1	Scénario 1 (Base) – Chaudière gaz, solaire thermique et groupe froid	25
6.2	Scénario 2 – Chaudière biomasse avec appoint gaz, groupe froid	25
6.3	Scénario 3 – Géothermie sur nappe superficielle avec PAC Air/Eau	26
7	Analyse technico-économique	26
7.1	Hypothèses	26
7.2	Description des indicateurs économiques	27
7.3	Description des indicateurs environnementaux	27
7.4	Scénario 1 – Base	28
7.5	Scénario 2 – Chaudière biomasse appoint gaz et groupe froid	31
7.6	Scénario 3 – PAC Air/Eau et PAC Eau/Eau sur géothermie	34
7.7	Scénario 3.bis – PAC Eau/Eau sur géothermie (hors GMI)	36
8	Synthèse	38
8.1	Bilan environnemental	38
8.2	Bilan financier	41
8.3	Conclusion	43
9	Glossaire	45

1 Suivi des versions

Indice	Date	Commentaire
A	30/09/2022	Première version
B	15/11/2022	Mise à jour des données, création d'un scénario de géothermie hors GMI.

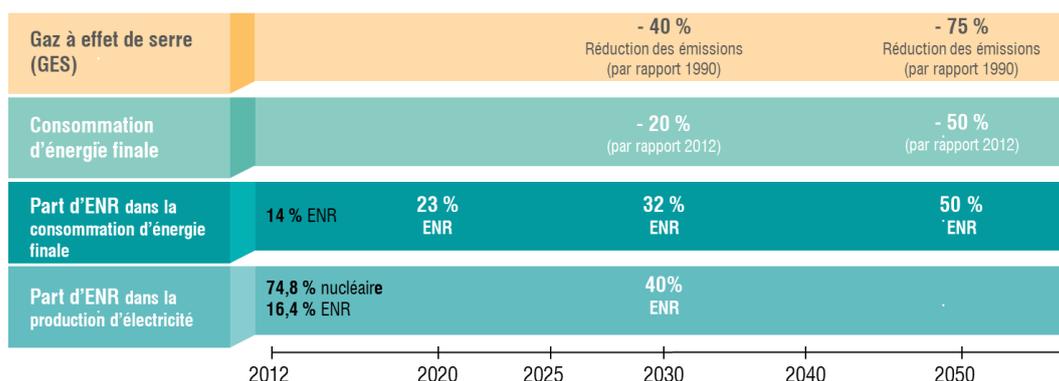
2 Contexte

L'opération concerne la construction d'un établissement pénitentiaire d'une capacité de 1000 places d'une surface d'environ 50 000 m² SDP en région Ile-de-France dans le département de la Seine-et-Marne (77). Le site retenu pour réaliser le projet est situé à Crisenoy, à environ 10 km au Nord-Est du centre-ville de Melun. Il est actuellement occupé par de grandes parcelles agricoles encore exploitées (blé et colza).

2.1 Contexte réglementaire

La transition énergétique est un enjeu fondamental du 21^{ème} siècle. Afin de relever ce défi, la France se doit de mener une politique exemplaire pour lutter efficacement contre le réchauffement climatique et réduire le recours aux énergies fossiles. La transformation du modèle énergétique permet de favoriser l'emploi, d'encourager l'innovation et d'augmenter le pouvoir d'achat grâce aux économies d'énergie. La loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) explicite les objectifs à venir pour le pays :

- **Réduire de 40%** les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2030 et **diviser par 4** les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050.
- **Réduire de 50%** la consommation énergétique finale en 2050 par rapport à la référence 2012.
- **Porter à 32%** la part des énergies renouvelables (EnR) de la consommation finale d'énergie en 2030 et à **40%** dans la production d'électricité.



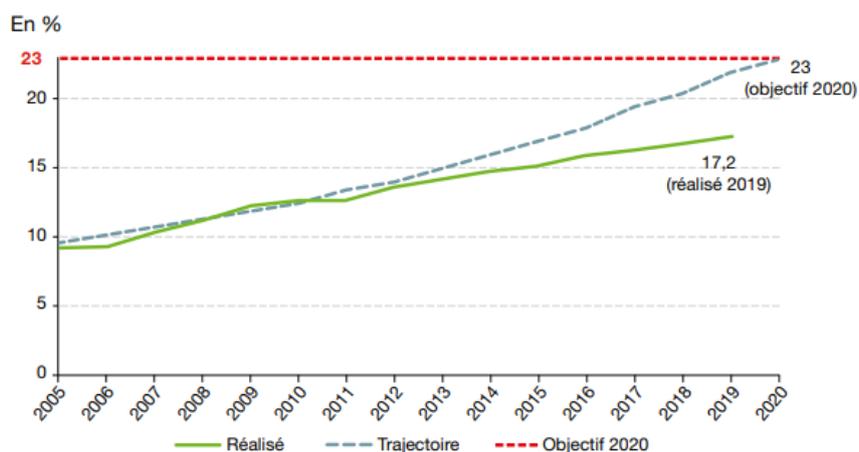
Récapitulatif des objectifs de la LTECV – Vizea

Une nouvelle loi venant compléter la LTECV a été adoptée en 2019 : **la Loi Energie Climat (LEC)**. L'objectif de cette loi est d'**atteindre la neutralité carbone à l'échéance 2050**. Elle se concentre sur trois objectifs principaux à savoir :

- Décarboner le mix énergétique en accélérant la baisse de la consommation d'énergies fossiles à 40% en 2030 (au lieu de 30%) et mettre fin à la production d'électricité à partir du charbon.
- Transformer notre modèle énergétique avec des objectifs réalistes, en portant le délai à 2035 pour la baisse de la part de nucléaire dans le mix énergétique.
- Evaluer la mise en œuvre des engagements dans tous les secteurs en créant le Haut Conseil pour le climat, chargé notamment d'étudier les décisions prises par l'état et de recommander des actions en faveur de la lutte contre le dérèglement climatique.

Cette loi vient ainsi renforcer les ambitions politiques énergétiques de la France, en cohérence avec la **Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE)** et la **Stratégie Nationale Bas-Carbone**.

PART DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LA CONSOMMATION FINALE BRUTE D'ÉNERGIE



Trajectoire de la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie en 2019 – Statistique.Développement-Durable.gouv.fr

Compte tenu de la variabilité du prix des énergies fossiles, le recours à des énergies renouvelables permet d'avoir une vision plus claire du coût de fourniture d'énergie. En effet, même s'il n'est pas possible de prédire précisément le prix de l'électricité ou du gaz à court terme, il est certain que sur une période de 20 ans (la durée de vie d'un système énergétique), la hausse des prix sera très importante.

En identifiant les potentiels en énergie renouvelables disponibles pour le site du future établissement pénitentiaire, l'objectif est d'orienter le projet vers une stratégie énergétique efficace à différents niveaux : économique, technique et environnemental.

2.2 Contexte du site

La parcelle retenue pour réaliser le projet est située à Crisenoy (à la frontière de la commune de Fouju), à environ 10 km au Nord-Est du centre-ville de Melun. Elle est actuellement occupée par de grands espaces agricoles, dont la plupart sont encore exploités (blé et colza).

3 Construction de la stratégie énergétique

3.1 Stratégie et cohérence avec la transition énergétique et environnementale actuelle

La construction d'une stratégie énergétique cohérente repose sur plusieurs leviers. En effet, cette stratégie ne doit pas seulement concerner la production d'énergie renouvelable mais elle doit absolument intégrer les besoins initiaux et les consommations qui s'en suivent. L'objectif est donc de préciser et réduire au mieux les besoins, d'adapter les systèmes de production en conséquence et d'éviter ainsi les surconsommations. Ainsi, on adopte le principe selon lequel l'énergie la moins polluante et la moins coûteuse est celle qui n'est pas consommée.



Sobriété, efficacité énergétique et énergies renouvelables (Negawatt.org)

La sobriété énergétique est une démarche de modération qui consiste en une utilisation réfléchie de l'énergie utilisée avec une priorisation des besoins : utiliser l'énergie pour les bons usages et uniquement lorsqu'elle est nécessaire.

Les systèmes énergétiques sont sollicités dans un second temps, pour satisfaire les besoins qui ne peuvent être évités. Il est par exemple difficile de réduire le besoin d'ECS (lié aux usages uniquement), alors qu'il est aisé d'agir sur la réduction des besoins de chauffage (bio-climatisme, étanchéité à l'air, isolation ...).

Les énergies renouvelables permettent de couvrir tout ou partie de ces consommations et présentent des impacts environnementaux largement réduits par rapport aux énergies fossiles.

3.2 Stratégie adoptée sur le projet

Les besoins d'énergie des bâtiments ont été calculés sur la base de la nouvelle réglementation environnementale des bâtiments, RE2020 (soit un niveau RT2012-30%) démontrant une volonté d'exemplarité énergétique environnementale et énergétique. Si les besoins des bâtiments tertiaires et restauration ont pu être approximés par les usages RT2012 déjà existants, les besoins des bâtiments d'hébergements pénitentiaires se distinguent des logements collectifs classiques (occupation, de surfaces différentes...). L'APIJ, accompagnée par le bureau d'études TRIBU Energies, a ainsi développé un nouveau scénario RT2012 pour la typologie hébergement pénitentiaire, qui a servi de base pour le calcul des besoins des quartiers d'hébergements.

Pour rappel, le calcul du CEPmax pour un bâtiment de logements collectifs utilise la formule suivante :

$$CEP_{max} = 50 * M_{Ctype} * (M_{Cgéo} + M_{Calt} + M_{Csurf} + M_{C GES})$$

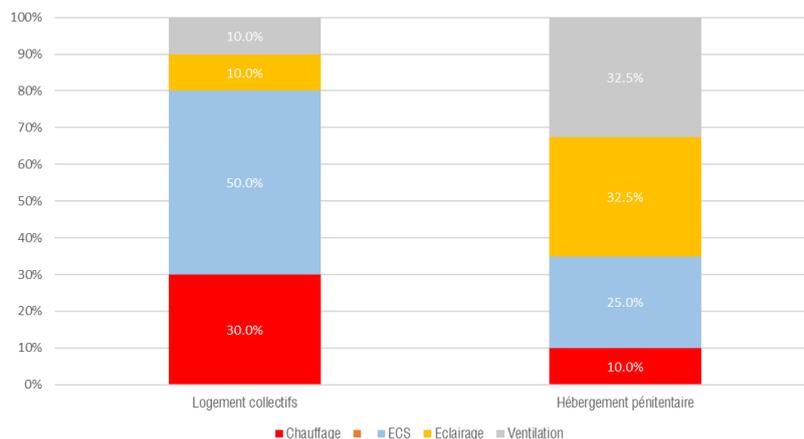
Avec le coefficient M_{Ctype} variant entre 1 et 1.2 selon la catégorie CE1 ou CE2.

La formule utilisée pour le calcul du CEPmax d'un usage hébergement pénitentiaire est la suivante :

$$CEP_{max} = 50 * M_{type} * (M_{géo} + M_{calt} + M_{surf} + M_{c GES} + M_{c ECS})$$

Où le coefficient M_{type} est ici égal à 4,4 afin de représenter l'occupation presque permanente. Le coefficient MC_{ECS} est lui fonction du nombre de lit par m².SRT.

Appliqué au projet, le calcul du Cep,max sur les quartiers d'hébergements donne 211.64 kWh/m².SDP. Cependant l'objectif est RT2012-30%, donc il faut réduire le Cep max de 30%. **L'objectif final, équivalent à la RE2020, est donc 148,15 kWh/m².SDP.**



Part des besoins énergétiques selon les postes réglementaires

Les consommations sont ainsi bien supérieures à ceux d'une typologie logement collectif du fait du coefficient M_{type} et leur répartition est différente avec des besoins en électricité notamment plus présents dans la répartition totale.

Une performance des systèmes sera recherchée pour limiter les impacts là où des besoins d'énergie sont nécessaires : la meilleure solution consistera en un compromis entre les aspects techniques – économiques – environnementaux.

Les énergies renouvelables bien que nécessitant souvent de lourds investissements permettent d'améliorer le bilan environnemental de l'opération par rapport à des approvisionnements en énergie conventionnelle. Dans la suite du document, l'applicabilité d'un panel de solutions à énergie renouvelable sera étudiée pour déterminer différents scénarios d'approvisionnement énergétique et orienter le projet.

4 Analyse des besoins énergétiques

4.1 Description des besoins estimés

Les besoins estimés dans la présente étude sont séparés dans les 4 catégories suivantes :



Besoins de chauffage : chauffage des bâtiments. Il ne s'agit pas d'un calcul réglementaire. En effet, l'objectif est ici d'être le plus proche de la réalité possible. Les besoins sont estimés sur la base des niveaux RE2020, correspondant à des niveaux RT2012-30%.



Besoins d'ECS : besoin d'eau chaude sanitaire. Le besoin d'ECS ne dépend que très peu de l'enveloppe du bâtiment. Le facteur le plus influent est en effet l'occupation et la typologie de ce bâtiment.



Besoins de froid : dans une logique de conception bioclimatique, il n'a pas été considéré de besoins de froid pour les espaces assimilés à des logements collectifs sur cette étude¹. Les besoins de froid sont ainsi localisés dans les parties restauration (process cuisine) et assimilées tertiaires.



Besoins d'électricité : ensemble des postes réglementaires consommant de l'électricité (éclairage, ventilation, auxiliaires).

4.2 Programmation

Les bâtiments pris en compte dans le projet sont ceux détaillés dans le programme fonctionnel. Les usages suivants ont été considérés pour les espaces du projet :

- **Hébergement pénitentiaire** : QIQD-UDV / UVF / personnel hors détention / personnel hors enceinte (hébergement temporaire) / QAE / QMA / QCD / Qrespect / SMPR (unité d'hébergement).
- **Tertiaire** : Entrée / Accueil / Hall / Unité de formation / Locaux divers (syndicat, support, médias, annexes...) / Locaux sportifs / Bureaux / Armurerie / Vestiaire / Greffe / Administration / PCD / Parloirs / LPED-ELSP / Locaux communs des quartiers / Unité sanitaire / PIPR / Espace de surveillance / Atelier de maintenance
- **Restauration** : Personnel hors enceinte (mess & cafétéria), service personne (restauration détenus).
- **Equipement scolaire** : Espace d'enseignement en PIPR / Atelier de production et formation.

Usages RT	Performance	SU (en m ²)	%	SRT (en m ²)	%
Habitat collectif	RE2012-30%	13438,0	41%	28224,5	47%
Tertiaire		10375,0	32%	18628,7	31%
Restauration		1801,0	5%	2743,4	5%
Equipement scolaire		7258,0	22%	10556,0	18%
Total		32872	100%	60153	100%

Nota : Le niveau de performance RT2012-30% correspond aux standards annoncés pour la RE2020.

¹ En phase études, le concepteur devra préciser les moyens mis en œuvre pour assurer le confort d'été (ventilation mécanique surdimensionnée, ventilation double flux avec batteries froides...)

4.3 Bilan énergétique

L'étude des consommations énergétiques permet de connaître la répartition entre les 4 catégories de consommations présentées ci-dessous. Ces dernières qui prennent en compte aussi bien les usages réglementaires que ceux hors réglementation (process cuisine par exemple) sont estimés à partir de retours d'expérience. Les 4 catégories de besoins sont :

- Chauffage ;
- Rafraichissement ;
- Eau Chaude Sanitaire (ECS) ;
- L'électricité.

Les hypothèses relatives aux besoins en énergie et aux puissances nécessaires proviennent des retours d'expérience RT2012 Vizea et de l'APIJ :

- **Tertiaire** : l'ensemble des consommations estimées sont issues des retours expérience Vizea et à partir des ratios CEPmax – 30% ;
- **Hébergement pénitentiaire** : les consommations sont calculées à partir des ratios CEPmax -30% issus du document de définition des exigences RT2012 de l'APIJ. Les consommations ECS sont, elles, calculées à partir d'une consommation de 35L/jour/détenu (hors process restauration).
- **Restauration** : la consommation de la restauration est issue des retours d'expérience Vizea. Les consommations ECS sont également calculées à partir d'une consommation de 5 L/repas à raison de 3 repas par jour par détenu.
- **Enseignement** : l'ensemble des consommations estimées sont issues des retours expérience Vizea et à partir des ratios CEPmax – 30%.

Il est à noter que :

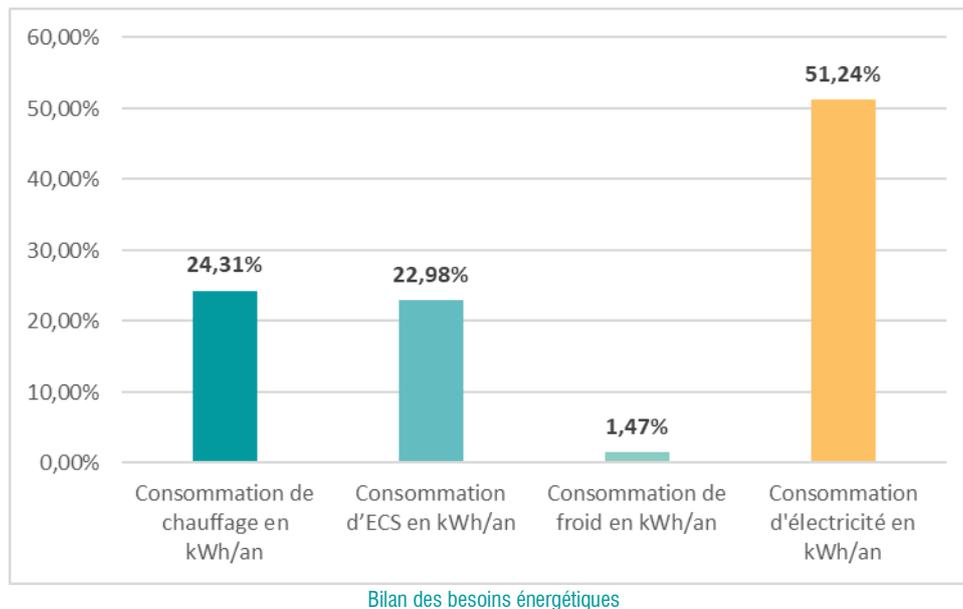
- Les usages spécifiques de l'électricité ne sont pas pris en compte ;
- Les valeurs des consommations sont adaptées en fonction des plages d'occupation pour certains usages associés « tertiaires » (ex : espace de sport, sas d'entrée, parloir...).

Usages RT	Performance	SRT (m ²)	Consommation de chauffage en kWh/an.m ²	Consommation d'ECS en kWh/m ² .an	Consommation de froid en kWh/m ² .an	Consommation d'électricité en kWh/m ² .an
Hébergement pénitentiaire	RT2012-30%	28 224	27,80	35,84	0,00	84,50
Restauration		2 743	16,05	131,75	34,39	71,91
Tertiaire		18 629	25,00	2,00	0,00	26,90
Enseignement		10 556	25,01	5,95	0,00	19,09

Ratios des consommations nécessaire par typologie de bâtiment et usage

Usages RT	Performance	SRT (m ²)	Consommation de chauffage en kWh/an	Consommation d'ECS en kWh/an	Consommation de froid en kWh/an	Consommation d'électricité en kWh/an	Puissance chaud (kW)	Puissance froid (kW)
Hébergement pénitentiaire	RT2012-30%	28224	784 641	1 011 619	0	2 385 075	710	0
Restauration		2743	44 033	361 435	94 357	197 269	107	86
Tertiaire		18629	465 719	37 257	0	501 113	300	0
Enseignement		10556	263 975	62 851	0	201 501	184	0
Total		60153	1 558 368	1 473 163	94 357	3 284 958	1301	86
Part		-	24,31%	22,98%	1,47%	51,24%		

Bilan des besoins énergétiques



Les besoins en électricité (51.24%) sont les plus importants principalement du fait des besoins d'éclairage et de ventilation élevés des zones hébergement pénitentiaire occupées de manière presque permanente.

Les besoins de chauffage (24.31%) et d'ECS (22.98%) sont équivalents : l'ECS est répartie entre la restauration et les zones d'hébergement, le chauffage est réparti principalement entre les espaces tertiaires et les hébergements.

Enfin, les besoins de froid (1.47%) sont les moins élevés : seul l'espace restauration est partiellement refroidi. Le programme technique privilégiant en priorité les solutions de rafraîchissement passive, le refroidissement des bureaux et des cellules est considéré nul.

Les puissances de chaud ont été définies à travers des retours d'expérience Vizea.

- **Hébergement pénitentiaire** : Il est considéré un chauffage des locaux pendant 7 mois de l'année et de l'ECS en continu.
- **Restauration** : Il est considéré de l'ECS 14 heures par jour tous les jours de l'année. Le chauffage est lui allumé pendant 7 mois de l'année de 7h à 21h. Une diminution de la température la nuit a été considérée. Enfin, un rafraîchissement est considéré 7h par jour dans les locaux de restauration.
- **Tertiaire/Enseignement** : Il est considéré un chauffage des locaux pendant 7 mois de l'année avec une diminution de la température la nuit. L'utilisation de l'ESC est considérée actif 8h par jour toute l'année.

La stratégie énergétique dépend en grande partie des besoins énergétiques. La première étape d'une stratégie énergétique vertueuse est donc de limiter les besoins avant de limiter les impacts liés à la production.

5 Inventaire du potentiel en énergies renouvelables

5.1 Les réseaux de chaleur

5.1.1 Les réseaux de chaleur existants

La commune de Melun est équipée d'un réseau de chaleur urbain alimenté par :

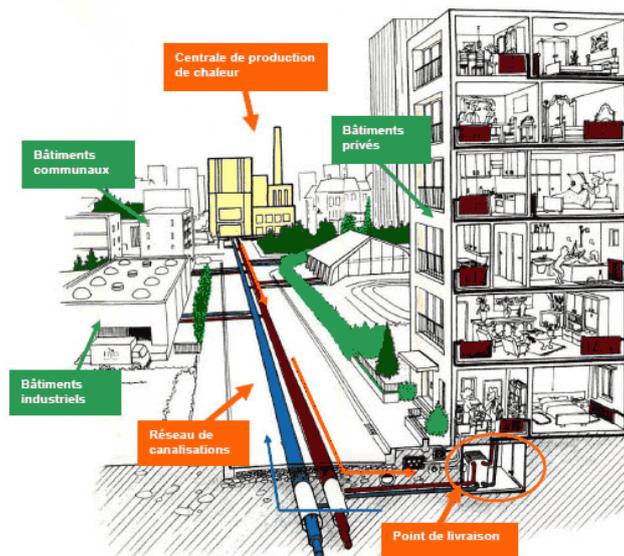
- Un doublet de géothermie d'une puissance de 11 MW ;
- Une usine de valorisation énergétique des déchets de Vaux-le-Pénil ;
- Deux moteurs de cogénération de 4 MW thermiques et 4 MW électriques
- Trois chaudières gaz d'une puissance totale de 36 MW

Ce réseau apparaît trop éloigné du site de l'opération pour envisager un raccordement.

5.1.2 Création d'un réseau de chaleur

Dans le but de mutualiser les équipements de production de chaleur, une solution consiste à créer un mini-réseau de chaleur au sein de la zone étudiée. Ce réseau est alors composé de l'unité de production, du réseau de canalisations ainsi que des points de livraison au sein des différents bâtiments.

Pour une puissance inférieure à 2MW il n'est pas nécessaire de réserver une emprise spécifique pour les équipements de production de chaleur, les chaufferies peuvent être intégrées aux bâtiments (en sous-sol ou rez-de-chaussée). Il faut alors prévoir un espace pour l'implantation de la chaufferie.



Principe de fonctionnement d'un réseau de chaleur

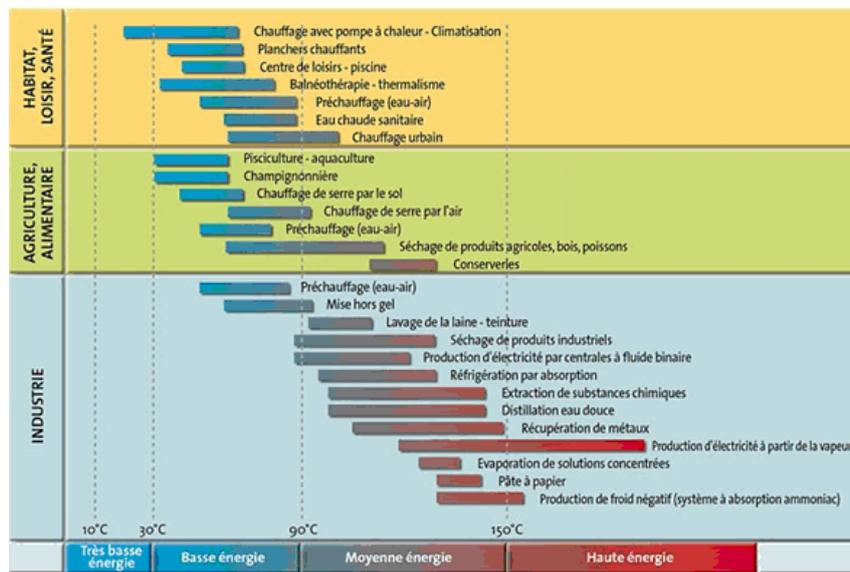
La création d'un réseau de chaleur à l'échelle de l'établissement pénitentiaire peut s'avérer intéressante devant le nombre de bâtiments différents à alimenter en chaleur. L'idée de cette création sur l'échelle du site entier réside plutôt dans la mutualisation des équipements afin d'avoir un seul local technique dédié à la création de chaud/froid.

La création d'un réseau de chaleur à l'échelle de la ZAC des Bordes pourrait également être envisagée mais sort du cadre de cette étude et présente un certain nombre de contraintes :

- Distances entre les différents bâtiments ;
- Bâtiments tertiaire/activités n'ayant que peu de besoins ;
- Temporalité entre les différents aménagements ;
- Discussions en cours sur la création de la ZAC.

5.2 La géothermie

Il existe plusieurs types de géothermie, les différences sont principalement dues à la profondeur de la ressource, et donc à la température du gisement. Ces types de géothermie sont représentés sur la figure suivante :



Les solutions géothermiques en fonction de la température – Canadian GeoExchange Coalition

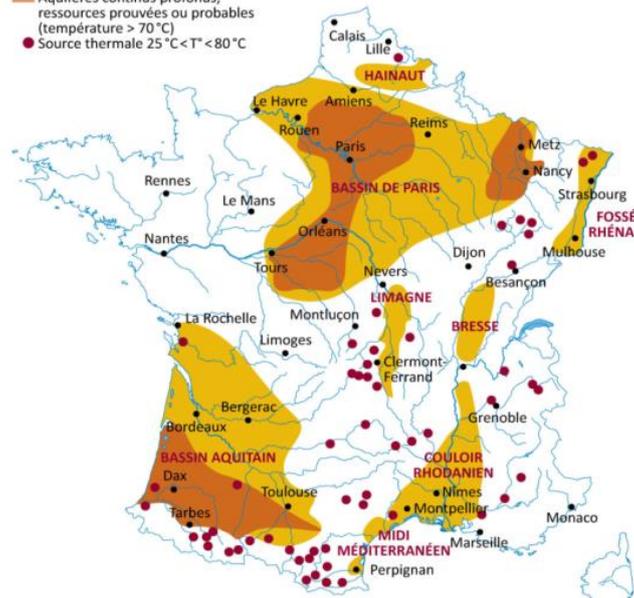
5.2.1 Géothermie sur aquifère profond

La géothermie sur aquifère profond, ou géothermie basse énergie, repose sur l'utilisation directe de la chaleur de l'eau chaude contenue dans les aquifères (couches géologiques poreuses imprégnées d'eau) profonds.

Le gisement géothermique français

source : BRGM

- Bassins sédimentaires profonds (aquifères continus)
- Aquifères continus profonds, ressources prouvées ou probables (température > 70 °C)
- Source thermique 25 °C < T° < 80 °C



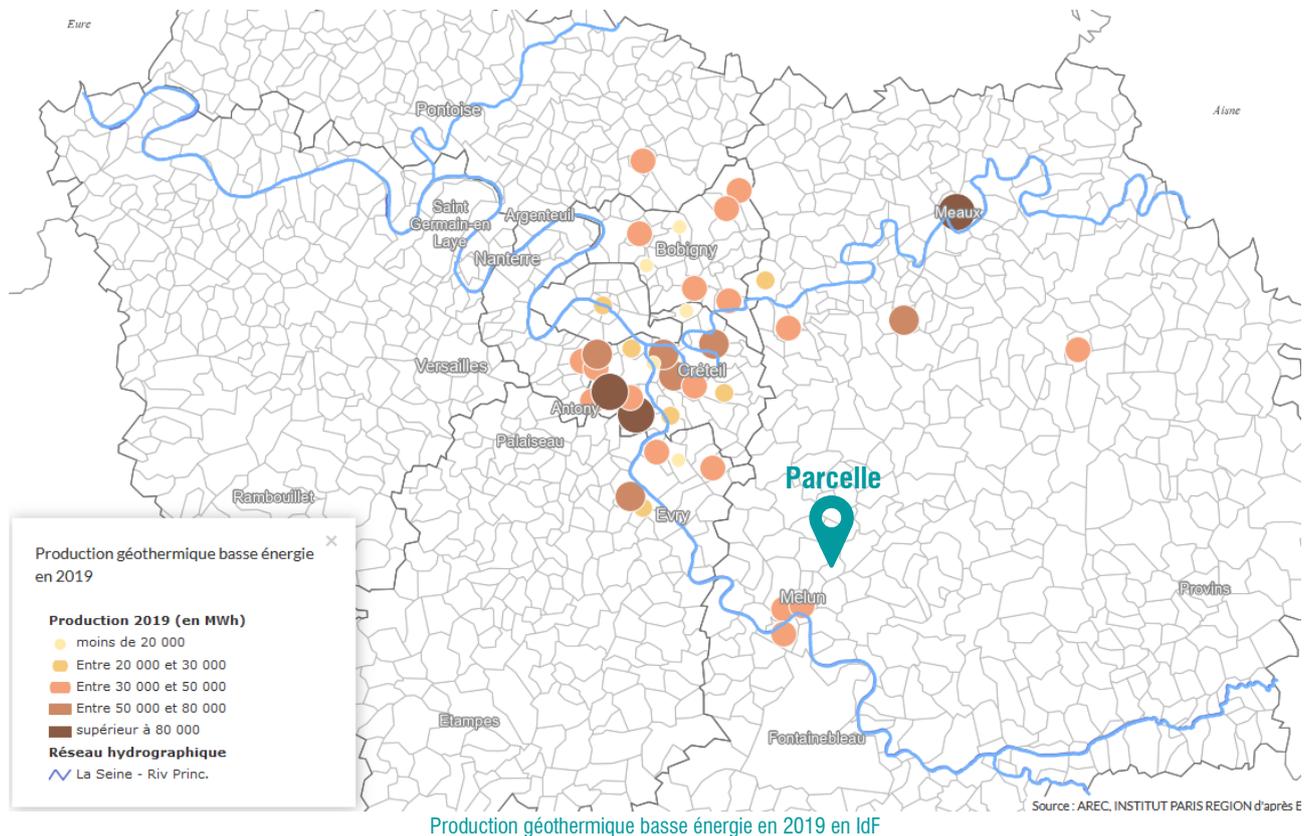
Potentiel de l'aquifère (source : BRGM)

Les coûts d'investissement particulièrement importants de cette solution nécessitent des besoins de chaleur très élevés afin de rentabiliser les investissements de forage. La mise en place d'un réseau de chaleur alimenté en géothermie profonde présente un réel intérêt économique à partir de puissances mises en jeu de l'ordre de 10 MW.

La puissance nécessaire à la production d'énergie sur le projet n'est pas suffisamment élevée pour que la géothermie profonde présente un intérêt.

5.2.2 Géothermie sur nappe superficielle

Une pompe à chaleur (PAC) sur nappe superficielle vient puiser des calories et/ou frigories dans une nappe située à une profondeur généralement inférieure à 100 mètres du niveau du sol. Ce système est réversible et permet de produire du chaud et du froid.



Une nappe (Nappe de l'Eocène moyen et inférieur) libre est présente au niveau du site retenu dont la profondeur est comprise entre 31 et 40m de profondeur. Le débit de la nappe est supérieur à 100 m³/h pour une épaisseur de 75 à 150m. L'eau est peu minéralisée et sa transmissivité² est supérieur à 0.01 m²/S.

La solution géothermie superficielle pourrait être intéressante, en l'associant à des systèmes d'appoint pour assurer la production de chaleur et de froid sur le projet. D'après les données actuellement disponibles, deux doublets seraient nécessaires afin de répondre aux besoins de chaud et de froid de l'opération.

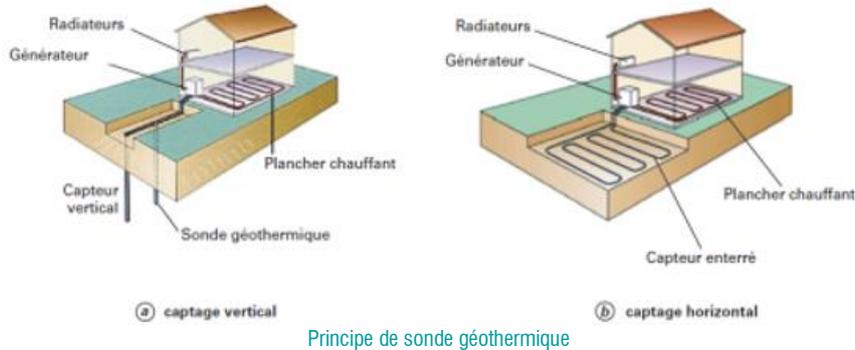
Néanmoins, afin de s'affranchir des contraintes administratives et des délais associés, les conditions de Géothermie de Minime Importance (GMI) seront à respecter : notamment puissance de l'installation inférieure à 500 kW, profondeur de forage inférieure à 200m, la température de l'eau extraite inférieure à 25°C et débit inférieur à 80m³/h.

Les données concernant l'exploitation de la nappe pour la géothermie manquent actuellement de précisions. Afin de permettre à la MOE de réaliser au mieux les études de conception, il sera nécessaire de réaliser une pré-étude de conception permettant de fiabiliser les données de la nappe et notamment la puissance disponible. Cette étude permettra ainsi de statuer sur la possibilité de pomper et réinjecter l'eau dans la nappe sans risque.

² La transmissivité d'un aquifère représente la capacité d'un aquifère à mobiliser l'eau qu'il contient

5.2.3 Champ de sondes

La géothermie sur champ de sondes met à profit la chaleur du sol dont la température est relativement constante tout au long de l'année en extrayant ses calories au moyen d'un fluide caloporteur. A faible profondeur, ces capteurs sont sensibles aux changements de températures et profitent de l'exposition au soleil du sol dans lequel ils sont enfouis.



Le dimensionnement des systèmes de chauffage alimentés par des sondes géothermiques est fonction de la surface au sol disponible puisque même si ces sondes sont implantées verticalement dans le sol, elles nécessitent un écartement minimum de 10 mètres entre elles afin de ne pas engendrer d'interférences thermiques.

Pour le captage vertical, une profondeur de 100 m est suffisante pour s'affranchir des variations de température journalières et saisonnières où la température est constante autour de 14 °C. Une telle sonde correspond à une puissance géothermique de l'ordre de 7.5 kW. Ces systèmes sont donc généralement destinés à l'alimentation d'un ou plusieurs bâtiments.

Pour éviter un investissement trop important et des forages trop nombreux, on associe généralement ce système à une énergie d'appoint. Le recours à cette technologie constitue donc davantage une alternative de production énergétique qu'une source principale de production.

Au total, environ 80 sondes (soit plus de 6 000 m²) seraient nécessaires pour obtenir la même puissance qu'une installation d'un forage de géothermie sur nappe superficielle. La parcelle faisant environ 33 hectares, le champ de sonde représenterai environ 2% de la surface de la parcelle. Il est cependant possible d'intégrer les sondes directement aux fondations profondes d'un bâtiment, cela permet de réduire l'impact surfacique d'un champ de sonde. Du fait de la présence d'une nappe superficielle et pour limiter l'emprise au sol, cette solution n'est pas très pertinente. La nappe superficielle présente sous la parcelle possède un pontentiel très fort.

La géothermie sur champ de sondes horizontales n'apparait pas pertinent sur le projet : une très grande superficie est nécessaire et l'espace au sol doit être libre de toute construction. De plus, les performances sont généralement moindres que pour des sondes verticales.

5.3 Les énergies de récupération

5.3.1 Récupération de chaleur sur eaux grises passives

Lors de leur évacuation, les eaux usées ont une température moyenne comprise entre 10 °C et 20 °C (selon la région considérée et les saisons). Elles sont issues principalement des cuisines, douches, lave-linge et lave-vaisselle.

La récupération d'énergie via les eaux grises consiste à préchauffer l'eau froide destinée à l'ECS par un échange thermique avec les eaux grises évacuées. Ce dispositif passif permet une réduction de 20 à 30 % sur les consommations d'ECS. Il est particulièrement adapté aux usages type logements collectifs avec une production centralisée de l'ECS.



Exemple d'installation (source : GAIA GREEN)

Ce type de dispositif possède généralement un temps de retour de 3 à 6 ans suivant les contraintes et les caractéristiques des projets.

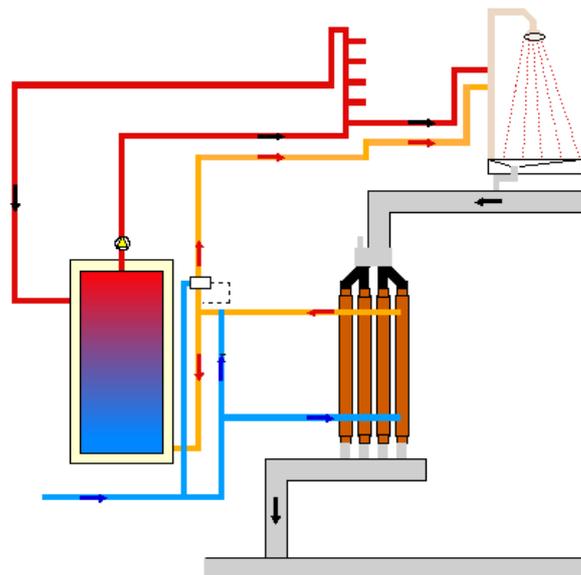


Schéma de principe de la récupération de chaleur sur eaux grises (source : GAIA GREEN)

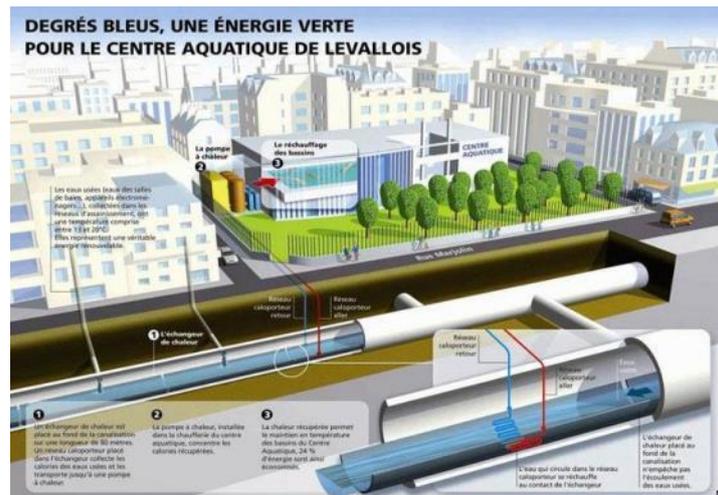
Les besoins d'ECS élevés pour les bâtiments d'hébergement rendent assez intéressant ce type de système. Il pourrait également être envisagé sur les espaces de restauration.

5.3.2 Récupération de chaleur sur eaux grises avec système de production

Les calories des eaux usées peuvent être utilisées pour le chauffage ou le refroidissement des bâtiments. Fonctionnant sur le même principe qu'une VMC double flux pour l'air, un échangeur thermique permet de récupérer les calories des eaux grises et de les transférer aux bâtiments via une pompe à chaleur.

Le système est par ailleurs réversible, il permet de rafraîchir les bâtiments en été lorsque la température des eaux usées est inférieure à la température intérieure des bâtiments.

Cette technologie peut alimenter un réseau de chaleur ou des bâtiments individuellement. Un projet adéquat se caractérise par des besoins en chauffage supérieurs à 800 MWh.



Principe du système de récupération de chaleur du centre aquatique de Levallois – Enviro2B.com

Les conditions minimales nécessaires à la mise en place de ce type de solution énergétique sont :

- Un débit supérieur ou égal à 12 l/s ;
- Une distance entre le réseau d'eaux usées et les locaux à chauffer limitée à 200 - 300 m ;
- Pour les réseaux existants, un diamètre de collecteur supérieur ou égal à 800 mm ;
- Pour les réseaux neufs, un diamètre de collecteur supérieur ou égal à 400 mm.

Les besoins en chaleur du projet sont trop faibles pour envisager cette solution.

5.3.3 Chaudière numérique

Il est possible de réduire les consommations d'eau chaude sanitaire en mettant en œuvre une « chaudière numérique ». Cette solution très innovante, s'avère être simple et responsable, car elle valorise l'énergie fatale dégagée par des serveurs informatiques pour préchauffer l'eau chaude sanitaire à hauteur de 50%.

La société STIMERGY, qui commercialise le produit, se préoccupe donc d'héberger des données sur disques durs dans une « boîte » à l'intérieur même de la chaufferie. La chaleur ainsi dégagée est récupérée et acheminée vers un ballon de stockage.



La sécurité et la maintenance de l'installation sont assurées par STIMERGY en direct. Le réseau secondaire, en sortie de chaufferie est traditionnel avec une distribution via les gaines techniques. Ainsi, à l'image d'un réseau de chaleur, la chaudière numérique offre l'avantage de fournir une quantité de chaleur annuelle garantie de manière contractuelle.

Les prérequis pour l'installation de cette solution sont :

- Un local aux normes chaufferie ;
- Une hauteur sous plafond minimum de 2.20m ;
- Un préparateur ballon ECS pour collectif ;
- Un système de ventilation haute et basse ;
- Une résistance au sol supérieure à 500 kg/m² ;
- Une arrivée hydraulique pour connecter l'échangeur ;
- Une arrivée électrique depuis un point de livraison dédiée à la salle serveurs ;
- Un lieu d'implantation éligible à la fibre et une réservation de câblage pour la fibre numérique.

Cette solution innovante est particulièrement intéressante pour réduire la consommation en ECS qui est indépendante de la performance du bâti. Elle nécessite une forte consommation en ECS. Au vu des normes de sécurité du centre pénitentiaire, cette solution paraît difficile à mettre en œuvre.

5.4 La biomasse

La ressource bois peut être utilisée sur le projet, néanmoins l'approvisionnement du silo de stockage devra se faire depuis l'extérieur de l'enceinte et le dimensionnement et positionnement de celui-ci ne doivent pas constituer un obstacle au champ de vision de la protection périmétrique.

5.4.1 Equipement collectif

Le bois énergie peut être utilisé comme ressource principale d'un réseau de chaleur. Dans le cas où la puissance de chauffage nécessaire est inférieure à 2MW il n'est pas nécessaire d'avoir un bâtiment dédié pour la chaufferie : celle-ci peut être implantée en sous-sol ou en rez-de-chaussée.

Un équipement collectif implique une consommation relativement importante et donc un approvisionnement en combustible en conséquence. Un équilibre est à trouver entre la place dédiée au stockage de combustible et la fréquence de livraison du combustible.

La problématique de l'approvisionnement devra être intégrée rapidement par le concepteur si le projet s'oriente vers une solution biomasse : accès des livraisons, surfaces dédiées dans un ou plusieurs bâtiments.

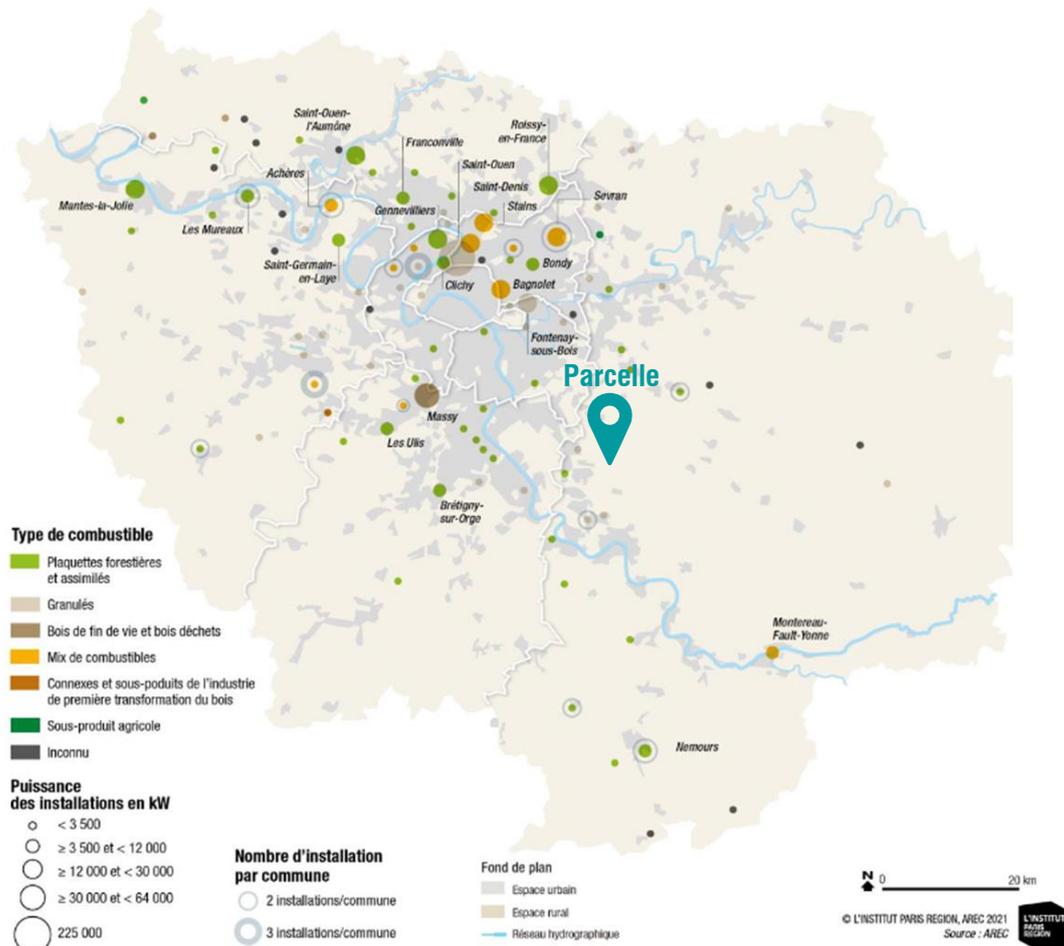


Livraisons de granulés par camion souffleur

5.4.2 Ressources

Energif (base de données ROSE, 2019) montre une utilisation importante de la ressource bois-énergie dans le département de Paris et sa petite couronne. La ressource bois-énergie est moins répandue autour de Crisenoy.

Les chaufferies biomasse en Île de France



Webinaire - Panorama et enjeux-clefs des chaufferies biomasse en Île-de-France

Chaufferies bois automatiques collectives en fonctionnement en Occitanie

En 2019, 67% de la biomasse consommée est produite en Ile-de-France, et 62% de cette biomasse est composé de plaquette forestières et assimilées.

Des fournisseurs de bois déchiqueté et de granulés existent dans un rayon de 50km autour de Crisenoy.

Nom	Buche	Granulés	Distance au site	Mode de livraison
GM Distribution		X	11 km	Non précisé
ETS Forestière SARL Berisha	X		7 km	Non précisé
SG Bois	X		7 km	Livraison big bag 1t

Le bois énergie peut être sollicité pour satisfaire les besoins de chaleur en système collectif ou en réseau de chaleur. Cependant il nécessite une emprise suffisamment importante pour l'implantation de la chaufferie, du stockage et de la livraison des combustibles. Ce choix doit donc être intégré dès la conception des bâtiments pour anticiper les contraintes d'espace des systèmes techniques et les problématiques de stockage et livraison. Un appoint gaz est souvent utilisé en complément.

Dans le cas où cette solution serait choisie, l'approvisionnement du silo devra se faire depuis l'extérieur de l'enceinte pour être conforme aux exigences du programme technique.

5.5 L'énergie solaire

Les données estimées par l'outil Cal-Sol de l'Institut National de l'Energie Solaire permettent d'estimer le gisement solaire à 1213 kWh/m²/an pour les zones les plus exposées (sans ombrages), les mieux inclinés (30°) et les mieux orientées (plein sud).

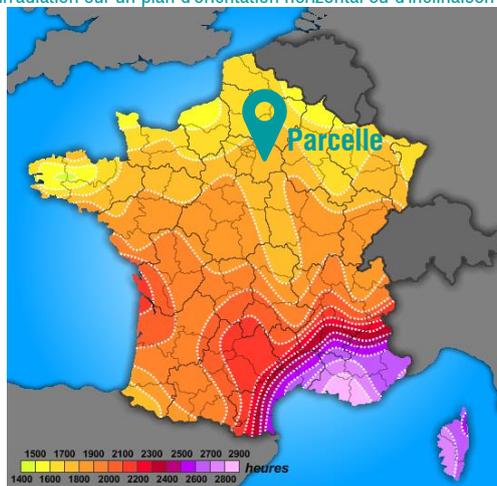
Irradiation sur un plan horizontal en kWh/m² par jour ☉ ou en kWh/m² cumulés ☽ [Sources](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Globale (IGH)	29	43	82	117	150	167	160	143	104	60	32	22	1109
Directe (IBH)	9	15	32	50	66	79	72	68	49	23	10	6	479
Diffuse (IDH)	20	29	49	67	84	88	88	75	55	37	22	16	630

Irradiation sur un plan d'inclinaison 30° et d'orientation 0° avec le masque. [COMPARAISONS](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Directe (IBP)	22	28	49	61	70	78	73	77	67	41	23	16	604
Diffuse (IDP)	18	27	46	62	78	82	82	70	52	35	20	15	587
Réfléchie (IRP)	1	1	2	2	3	3	3	3	2	1	1	0	22
Globale (IGP)	41	56	97	125	151	163	158	150	121	77	44	31	1213

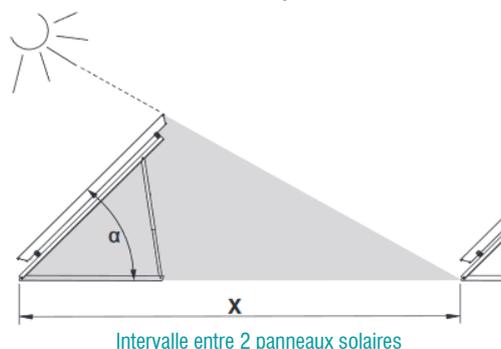
Estimation de l'irradiation sur un plan d'orientation horizontal ou d'inclinaison 30° - Outil Calsol



Carte de l'ensoleillement annuel (meteo-express)

L'environnement du site retenu pour la construction de l'établissement pénitentiaire est particulièrement dégagé, aucun masque solaire n'est présent aux alentours. La note bioclimatique préconise d'orienter les façades principales des bâtiments en suivant un axe Nord-Ouest / Sud-Est, l'orientation des panneaux photovoltaïques en toiture ne serait pas optimale (-45° comparé à une orientation plein sud) mais néanmoins intéressante : irradiance de **1168 kWh/m².an** soit une diminution d'environ 3.7 % par rapport au cas optimal.

Les panneaux solaires installés sur une surface plane doivent comporter une certaine distance de séparation entre les rangées afin d'éviter le chevauchement des ombres des panneaux sur les autres.

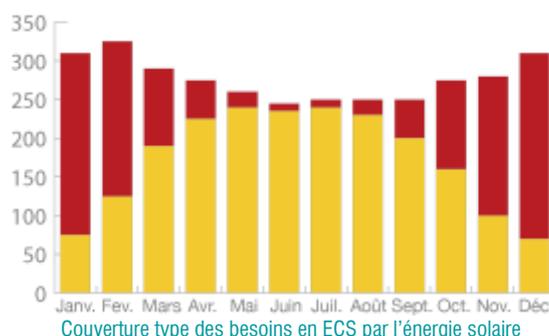


La distance de séparation entre les différents panneaux sur une surface horizontale dépend principalement de l'inclinaison du panneau et de sa longueur. Un espacement de 3m est suffisant pour s'affranchir des ombres autoportées.

5.5.1 Le solaire thermique

Les capteurs solaires thermiques permettent de couvrir 90% à 95% des besoins énergétiques liés à la production d'ECS durant la période estivale. Ce pourcentage s'avère en revanche nettement moins élevé en hiver avec une production de l'ordre de 15% à 20%. Malgré les importants besoins en ECS de la partie hébergements, il n'est pas possible de profiter de leur toiture pour installer des panneaux solaires par mesure de sécurité.

Néanmoins, cette solution peut être envisagée pour satisfaire les besoins ECS des espaces tertiaires et d'enseignement.



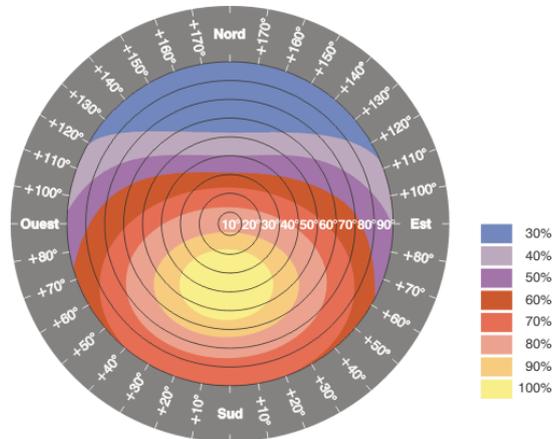
En considérant des panneaux solaires thermiques plans, ayant un rendement de l'ordre de 30 % en moyenne et l'irradiance évaluée de 1 109 kWh/m².an, une **production potentielle de 332.7 kWh/m².an** est possible.

Pour couvrir 100% des besoins ECS des espaces tertiaires et d'enseignement, il faudrait une installation d'environ **300 m²** de panneaux solaires thermiques.

Il peut être intéressant de considérer cette solution au niveau des zones tertiaires et d'enseignement de l'établissement pénitentiaire, les bâtiments ayant vocation à être occupés toute l'année et notamment pendant la saison estivale où l'utilisation de panneaux solaires thermiques est très pertinente.

5.5.2 Le solaire photovoltaïque

Une installation photovoltaïque se compose de modules solaires, eux-mêmes constitués de cellules photovoltaïques, généralement conçues à base de silicium. Ces générateurs transforment directement l'énergie solaire en électricité (courant continu). La puissance est exprimée en Watt-crête (Wc), unité qui définit la puissance électrique disponible aux bornes du générateur dans des conditions d'ensoleillement optimales.



Influence de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux solaires sur leur rendement

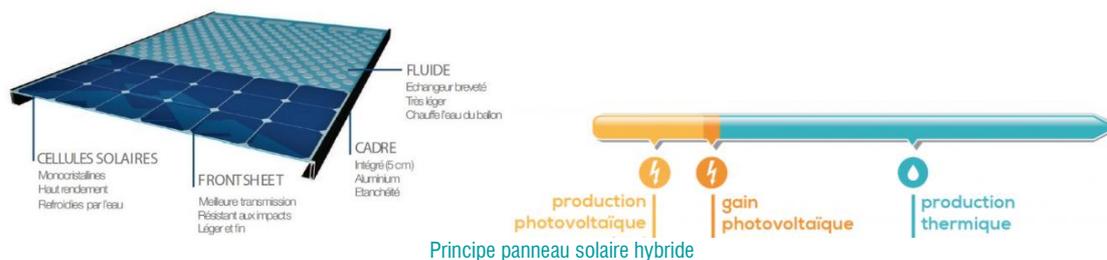
Le photovoltaïque est un des seuls systèmes EnR à produire de l'électricité couvrant ici une part importante des besoins purement électriques comme la ventilation, l'éclairage, etc. La parcelle est relativement bien orientée pour l'installation de panneaux photovoltaïques en toiture.

Les panneaux photovoltaïques peuvent être installés de manière complémentaire de la stratégie énergétique du projet puisqu'ils n'ont pas d'impact sur le dimensionnement des autres systèmes thermiques. De plus, et malgré le poids carbone des panneaux, cela permet une autoproduction. Au regard de la situation actuelle, une production sur site permet de s'assurer un minimum d'énergie à un prix fixe.

La production d'électricité des panneaux varie en fonction de la surface disponible (notamment de toiture et ombrières), et des usages qui en seront faits. Par mesure de sécurité, l'installation de panneaux photovoltaïques en toitures des hébergements des détenus n'est pas autorisée. Néanmoins la parcelle est grande et des bâtiments pourraient accueillir des panneaux photovoltaïques en toiture. En phase études, le concepteur devra alors affiner le calcul du productible, en fonction des surfaces de toitures disponibles et de l'ordre de priorité des solutions.

5.5.3 Le solaire hybride

Le solaire hybride est l'association de deux technologies solaires (photovoltaïque et thermique) en un seul panneau capable de produire simultanément du chaud et de l'électricité. Ce système est particulièrement adapté aux logements, car il permet de couvrir une partie des besoins d'ECS (qu'il est impossible de réduire en phase conception) et une partie des besoins électriques (qui sont très importants).



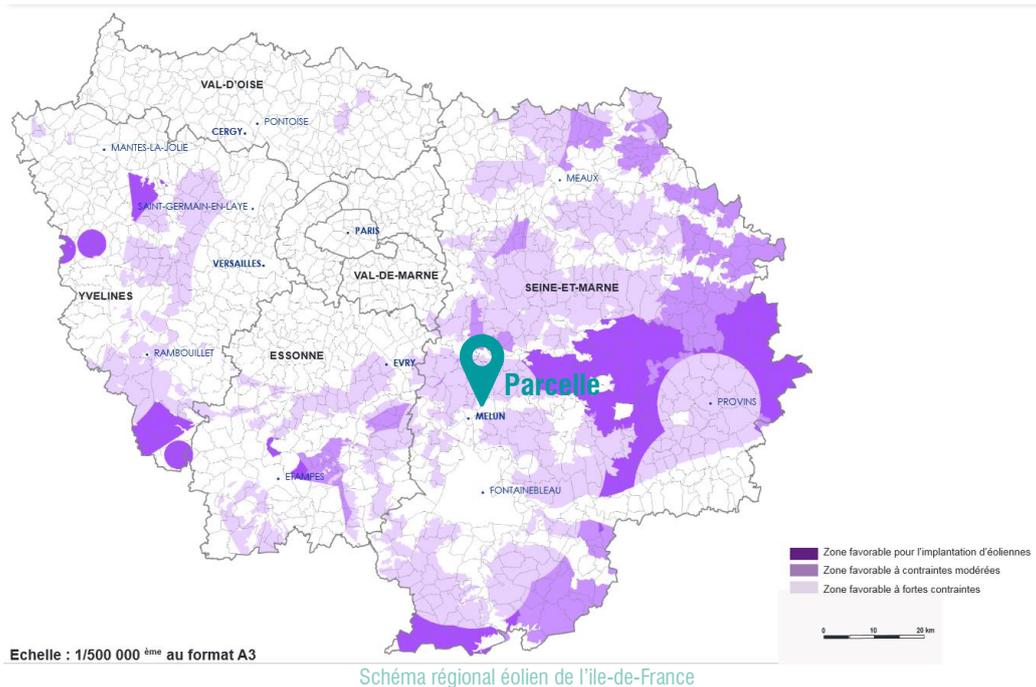
Cette solution nécessite plus de surface pour atteindre la même production que le solaire thermique classique, mais elle a l'avantage de produire de l'électricité en parallèle.

Malgré le potentiel du système en toiture des espaces d'hébergement, l'installation y est proscrite par le programme.

5.6 L'éolien

Les différents dispositifs d'éoliennes permettent de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique transformée ensuite en électricité.

5.6.1 Grand et moyen éolien



D'après le Schéma Régional Eolien de l'Île-de-France de 2012, la commune de Crisenoy fait partie des zones présentant des enjeux forts : la zone pourrait être favorable mais présente de fortes contraintes. De plus, de tels aménagements sortent du cadre du projet et font partie d'une stratégie d'échelle territoriale.

5.6.2 Le petit éolien : les éoliennes de bâtiments

Le petit éolien n'a, pour l'heure, pas démontré de productivité et de fiabilité intéressante : hauteur du mat et surface productive, rentabilité, production, fragilité. Les machines existantes vont de quelques kW à quelques centaines de kW. Elles subissent une très grande variabilité des vents (turbulences générées par les bâtiments) et peuvent par ailleurs transmettre des vibrations au bâti.

L'utilisation d'éoliennes n'est pas pertinente pour la stratégie énergétique du projet. Cette conclusion est appuyée par le programme technique qui proscrit cette solution.

5.7 Bilans atouts / contraintes

5.7.1 Production d'énergie thermique

Technologie	Faisabilité	Avantages	Inconvénients
Production de chaleur et de froid			
Raccordement réseau de chaleur existant	Non	La création d'un réseau de chaleur à l'échelle de la ZAC des Bordes est possible mais sort de l'étude.	Réseau de chaleur présent sur la commune de Melun mais paraît trop éloigné pour un raccordement.
Création d'un mini-réseau de chaleur	Oui	Puissance permettant d'intégrer la chaufferie dans un bâtiment (en sous-sol ou rez-de-chaussée)	Besoin d'espace pour implanter une chaufferie dans un bâtiment dédié
Géothermie sur aquifère profond	Non	/	Besoins insuffisants
Géothermie sur nappe superficielle	Oui	Potential très fort existant au niveau de la parcelle Production renouvelable de chaud et de froid	Investissement important Besoin d'études complémentaires (faisabilité géothermique et sondages) pour confirmer le potentiel Contraintes existantes pour exploiter la nappe (ZRE et zone de captage)
Géothermie sur champ de sondes	Non	/	Consommation d'espace Non pertinent en présence d'une nappe exploitable Surcoût de forages à 100m
Récupération de chaleur sur eaux grises avec système de production	Non	Réduction des consommations d'énergie Système réversible	Non adapté au projet : besoins insuffisants
Récupération de chaleur sur eaux grises passive	Oui (pour les bâtiments d'hébergement)	Réduction des consommations d'ECS Système passif	Nécessite la séparation des eaux vannes et des eaux grises. Système complexe à mettre en œuvre dans un centre pénitentiaire.
Chaudière numérique	Oui	Réduction des consommations d'ECS	Innovation en complément du système d'approvisionnement principal. Système pouvant porter atteinte aux règles de sécurité d'un établissement pénitentiaire.
Bois énergie	Oui	Production de chaleur pour le chauffage et l'ECS	Nécessite d'intégrer les contraintes de stockage du combustible et d'accès pour la livraison dès la conception du projet
Solaire thermique	Oui	Opportunité sur les bâtiments tertiaires et d'enseignement : besoins permanents	Nécessite un système d'appoint Utilisation des toitures : proscrit en toiture des hébergements
Solaire hybride	Oui	Production de chaud et d'électricité	Nécessite un système d'appoint Investissement plus important que solaire thermique Proscrit sur les espaces d'hébergement : éventuel conflit d'usage avec le solaire thermique.

Table des atouts et contraintes pour la production d'énergie thermique

5.7.2 Production d'électricité

Technologie	Faisabilité	Avantages	Inconvénients
Production d'électricité			
Solaire photovoltaïque	Oui	Autoconsommation possible électrique	Rendement réduit après 25 ans Filière recyclage pas encore mature Fabrication majoritairement chinoise et très carbonée Utilisation des toitures : proscrit sur les bâtiments d'hébergement
Solaire hybride	Oui	Production de chaud et d'électricité	Nécessite un système d'appoint Investissement plus important que solaire thermique Proscrit sur les espaces d'hébergement : éventuel conflit d'usage avec le solaire thermique.
Grand et moyen éolien	Non	/	Proscrit par le programme technique
Eoliennes de bâtiment	Non	/	Technologies non pertinentes et proscrites par le programme technique

6 Proposition de scénarios énergétiques à étudier

Différents scénarios d’approvisionnement en énergies renouvelables sont proposés.

6.1 Scénario 1 (Base) – Chaudière gaz, solaire thermique et groupe froid

Ce premier scénario correspond au scénario qui représente une solution classique. Un effort est porté sur la production d’ECS par la mise en œuvre de panneaux solaires thermiques. Ces derniers fournissent 50% des besoins d’ECS des espaces tertiaires et d’enseignement compte-tenu de leurs mauvais rendements en hiver. La surface de panneaux thermiques à installer en toiture serait d’environ 300m² pour couvrir la moitié des besoins d’ECS de ces espaces.

Typologie	Part de la surface totale	Système productif	Alimentation des besoins			
			Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Hébergement pénitentiaire	46.92%	<i>Chaudière gaz</i>	100%	100%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Restauration	4.56%	<i>Chaudière gaz</i>	100%	100%		
		<i>Groupe froid</i>			100%	
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Tertiaire	30.97%	<i>Chaudière gaz</i>	100%	50%		
		<i>Solaire thermique</i>		50%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Enseignement	17.55%	<i>Chaudière gaz</i>	100%	50%		
		<i>Solaire thermique</i>		50%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%

6.2 Scénario 2 – Chaudière biomasse avec appoint gaz, groupe froid

L’impact carbone des chaudières gaz n’étant plus à démontrer, un second scénario avec une chaudière bois afin de remplacer l’utilisation du gaz sera étudié. Pour une chaudière bois couvrant 80% des besoins, le choix se portera sur une chaudière d’une puissance nominale d’environ 50% de la puissance totale installée. Une chaudière gaz permettra de répondre aux pics de consommations.

Typologie	Part de la surface totale	Système productif	Alimentation des besoins			
			Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Hébergement pénitentiaire	46.92%	<i>Chaudière bois</i>	80%	80%		
		<i>Chaudière gaz</i>	20%	20%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Restauration	4.56%	<i>Chaudière bois</i>	80%	80%		
		<i>Chaudière gaz</i>	20%	20%		
		<i>Groupe froid</i>			100%	
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Tertiaire	30.97%	<i>Chaudière bois</i>	80%	80%		
		<i>Chaudière gaz</i>	20%	20%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Enseignement	17.55%	<i>Chaudière bois</i>	80%	80%		
		<i>Chaudière gaz</i>	20%	20%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%

6.3 Scénario 3 – Géothermie sur nappe superficielle avec PAC Air/Eau

L'étude du site a relevé un potentiel géothermique très fort sur le site. Afin de rester sous le seuil de la géothermie de minime importance et ainsi s'affranchir des contraintes administratives, la puissance de la PAC sera de maximum 500kW. Compte-tenu de la consommation prévisionnelle du centre pénitentiaire, cette solution vertueuse permettrait de couvrir environ 70% des besoins en chaud de l'hébergement pénitentiaire, un appoint avec une PAC air/eau sera présent afin de couvrir l'ensemble des consommations de cet espace. La consommation des autres espaces sera assurée par des PAC air/eau.

Typologie	Part de la surface totale	Système productif	Alimentation des besoins			
			Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Hébergement pénitentiaire	46.92%	<i>Géothermie</i>	70%	70%		
		<i>PAC Air/Eau</i>	30%	30%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Restauration	4.56%	<i>PAC Air/Eau</i>	100%	100%	100%	
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Tertiaire	30.97%	<i>PAC Air/Eau</i>	100%	100%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Enseignement	17.55%	<i>PAC Air/Eau</i>	100%	100%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%

7 Analyse technico-économique

7.1 Hypothèses

Pour comparer les systèmes, les scénarios et les énergies, les hypothèses suivantes concernant les aspects environnementaux et économiques sont prises en compte :

Ressource	Tarif	Coût de l'énergie + abonnement (€/kWh)	Variation annuelle
Electricité	Domestique	0,16	4,80%
	Entreprise	0,12	5,00%
	Industriels	0,1	5,00%
Gaz	Naturel domestique	0,11	7,00%
	Naturel entreprise/professionnel	0,08	7,00%
Bois	Plaquette forestière	0,05	3,00%
	Granulés en vrac	0,06	3,00%

Hypothèses économiques

Il est à noter que compte-tenu de l'inflation sur le prix de l'énergie au moment de la rédaction de ce rapport, le coût de l'énergie peut varier de manière importante et rapide. Ainsi, les coûts liés à la consommation d'énergie sont à analyser au regard de la situation actuelle.

Ressource	Ratio EP/EF	Emission de GES (geqCO2/kWh)	%ENR
Gaz	1	234	0,10%
Bois	1	0	100,00%
Electricité	2,3	57	22,70%
Electricité - Chauffage		210	22,70%

Hypothèses environnementales

7.2 Description des indicateurs économiques

Les indicateurs économiques utilisés dans le cadre de l'étude sont les suivants :

- Investissement total (€ TTC).
- Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh) sur 30 ans. Il correspond à la moyenne des prix actualisés chaque année en suivant le cours de l'inflation. Ce coût de l'énergie ne contient ni le coût d'investissement, ni celui de la maintenance et de l'entretien.
- Entretien moyen (€ TTC/MWh) sur 30 ans.
- Maintenance moyenne (€ TTC/MWh) sur 30 ans.
- Temps de retour sur investissement (années) : ce temps de retour sur investissement correspond au nombre d'années nécessaires afin que la valeur actuelle nette (VAN) devienne positive. Ce calcul est réalisé par rapport au scénario de référence et prend en compte l'actualisation.

7.3 Description des indicateurs environnementaux

Les indicateurs environnementaux utilisés dans le cadre de l'étude sont décrits dans les sous-parties suivantes.

7.3.1 Energie primaire (Ep)

L'énergie primaire est l'énergie « potentielle » contenue dans les ressources naturelles utilisées par les installations visées (comme le bois, le gaz, le pétrole, etc.), et cela avant toute transformation.

7.3.2 Energie finale (Ef)

L'énergie finale est l'énergie consommée et facturée à chaque bâtiment, en tenant compte des pertes lors de la production, du transport et de la transformation du combustible. Les besoins énergétiques nets évaluent la quantité d'énergie que devront fournir les différents systèmes de chauffage et de refroidissement afin de garantir le confort thermique et la production d'ECS pour les usagers.

7.3.3 Part d'EnR

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergies dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain.

Sur le total des énergies consommées, il s'agit de la part d'énergie consommée d'origine renouvelable.

7.3.4 Emissions de GES

Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants qui contribuent à l'effet de serre de la planète. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est l'un des facteurs d'impact à l'origine du récent réchauffement climatique. Chaque GES ayant un effet différent sur le réchauffement global, cet indicateur est estimé en « équivalent CO2 » ou « équivalent carbone ».

7.3.5 Coefficient de performance (COP)

Le COP est un indicateur qui permet d'analyser le rendement et la performance d'une PAC. Ce coefficient représente le rapport, en kilowattheure (kWh), entre la quantité d'énergie produite et la quantité d'énergie utilisée.

7.4 Scénario 1 – Base

Ce scénario d'alimentation sert de base pour la comparaison avec les autres scénarios en termes de bilan économique et environnemental. Ainsi, le temps de retour calculé pour chaque solution est toujours lié à ce référentiel.

Typologie	Part de la surface totale	Système productif	Alimentation des besoins			
			Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Hébergement pénitentiaire	46.92%	<i>Chaudière gaz</i>	100%	100%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Restauration	4.56%	<i>Chaudière gaz</i>	100%	100%		
		<i>Groupe froid</i>			100%	
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Tertiaire	30.97%	<i>Chaudière gaz</i>	100%	50%		
		<i>Solaire thermique</i>		50%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Enseignement	17.55%	<i>Chaudière gaz</i>	100%	50%		
		<i>Solaire thermique</i>		50%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%

Tableau récapitulatif scénario 1

Des chaudières gaz à condensation assurent les besoins de chauffage de l'ensemble du site ainsi que la majorité des besoins en ECS. Les besoins de froid sont assurés par des groupe froid.

Une production solaire thermique couvre la moitié des besoins en ECS des espaces tertiaires/enseignement afin d'avoir un recours aux ENR.

L'électricité provient en totalité du réseau électrique national.

7.4.1 Résultats économiques

Bilan économique	Chaud ECS	Froid	Electricité	Global
Investissement total (€ TTC)	365 946	38 456	0	404 402
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	301,70	154,81	309,67	305,89
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	1,98	5,30	0,00 ³	0,60
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	0,12	4,08	0,00	0,07
Efficacité financière	Chaud ECS	Froid	Electricité	Electricité
Temps de retour (années)	-	-	-	-
Coût moyen de l'énergie (€ TTC/MWh)	318	362	310	314

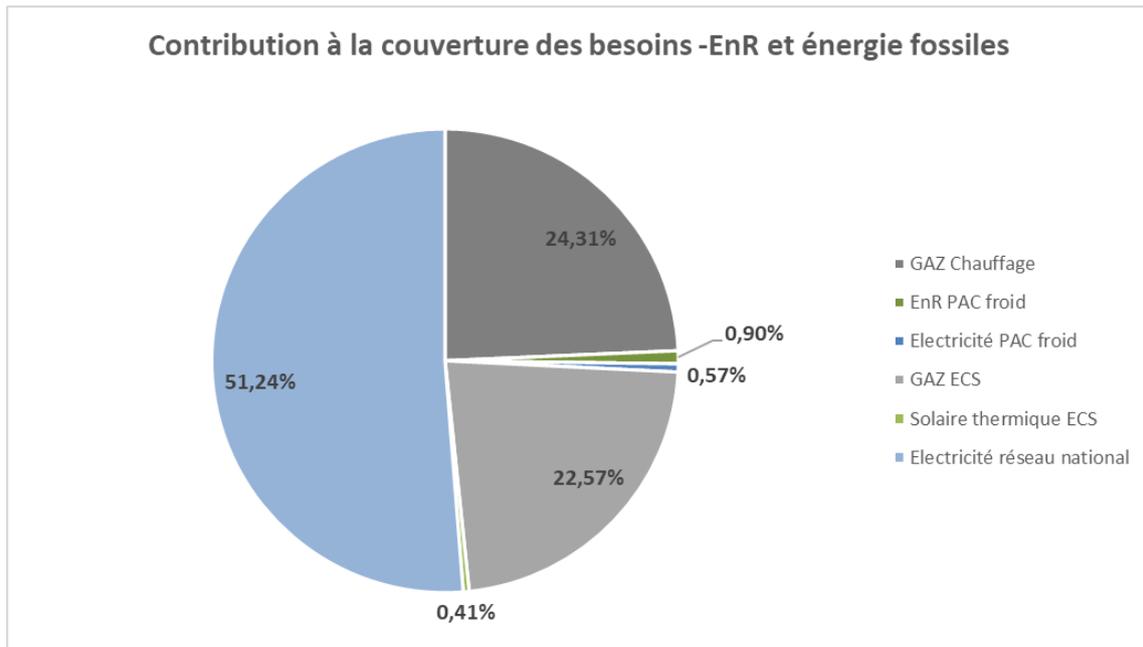
Bilan économique scénario de base

³ Les coûts d'investissement sont considérés négligeables ici. Les coûts d'entretien/maintenance du réseau ne sont pas à la charge des utilisateurs.

7.4.2 Résultats environnementaux

Bilan environnemental	Chaud ECS	Froid	Electricité	Global
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	2 895	108	7 555	10 558
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	2 945	47	3 285	6 277
Part d'EnR sur le bilan global ⁴	1.80%	61.35%	0.00%	1.31%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	703,37	2,69	187,23	893

Bilan environnemental scénario de base



Scénario base – Contribution des systèmes au taux EnR

⁴ La part ENR est calculée par rapport au bilan en énergie primaire

7.4.3 Conclusion scénario

Ce scénario de base comporte une part EnR pour la partie chaleur et froid du fait de l'utilisation de solaire thermique pour une partie des besoins ECS ainsi que des groupe froid pour la production de froid. La mise en place seule de ces systèmes ne permet cependant pas d'atteindre le taux de couverture EnR du programme fixé à 10% des consommations d'énergie.

Une installation solaire thermique telle que définie précédemment nécessiterait une surface de toiture d'environ 300 m² (à priori compatible avec les surfaces de toiture des espaces tertiaires et/ou de restauration) pour un investissement total de 330 k€.

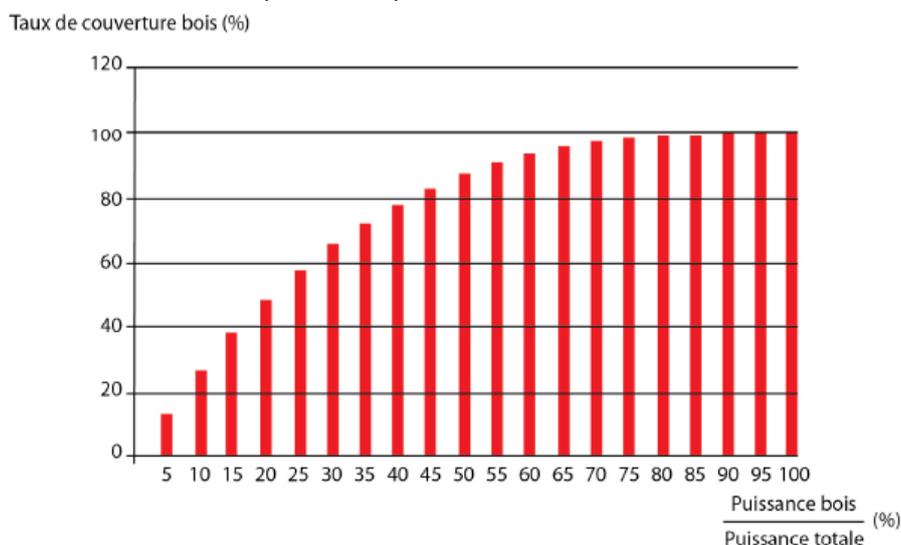
Aucun investissement n'est pris en compte pour la partie électricité car celle-ci est acheminée par le réseau électrique national et identique entre tous les scénarios. Cependant, le coût de l'énergie est soumis à une variation forte au cours des années, pour atteindre un coût moyen de l'électricité de 310 €/MWh sur 30 ans.

Consommation EP (MWhEp/an)	Investissement (€ TTC)	Entretien et maintenance (€ TTC/MWh)	Emissions de GES (teqCO2/an)	Part EnR
10 558	404 402	0,67	893,29	1,31%

Synthèse scénario base

7.5 Scénario 2 – Chaudière biomasse appoint gaz et groupe froid

Ce scénario plus ambitieux consiste à réaliser la production de chaleur par la ressource bois via une chaufferie biomasse, associée à un appoint gaz. Le groupe froid sont néanmoins toujours utilisées pour la production de froid. Malgré un investissement plus conséquent, ce type de solution permet généralement d'aboutir à un résultat plus intéressant du point de vue environnemental. La chaudière biomasse est dimensionnée à 55% de la puissance maximale pour fonctionner à sa puissance nominale le plus fréquemment et assurer 80% des besoins de chauffage. Une chaudière gaz d'appoint y est associée pour gérer les pointes de demande de chaleur dans les périodes les plus froides de l'année.



Evolution du taux de couverture bois en fonction du rapport entre la puissance de la chaudière bois et la puissance totale installée

Les besoins de froid des espaces tertiaires et restauration sont assurés par des groupe froid identiques au scénario de base et les besoins d'électricité sont de nouveau assurés par le réseau électrique national.

Typologie	Part de la surface totale	Système productif	Alimentation des besoins			
			Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Hébergement pénitentiaire	46.92%	Chaudière bois	80%	80%		
		Chaudière gaz	20%	20%		
		Réseau électrique national				100%
Restauration	4.56%	Chaudière bois	80%	80%		
		Chaudière gaz	20%	20%		
		Groupe froid			100%	
		Réseau électrique national				100%
Tertiaire	30.97%	Chaudière bois	80%	80%		
		Chaudière gaz	20%	20%		
		Réseau électrique national				100%
Enseignement	17.55%	Chaudière bois	80%	80%		
		Chaudière gaz	20%	20%		
		Réseau électrique national				100%

Tableau récapitulatif scénario 2

7.5.1 Résultats économiques

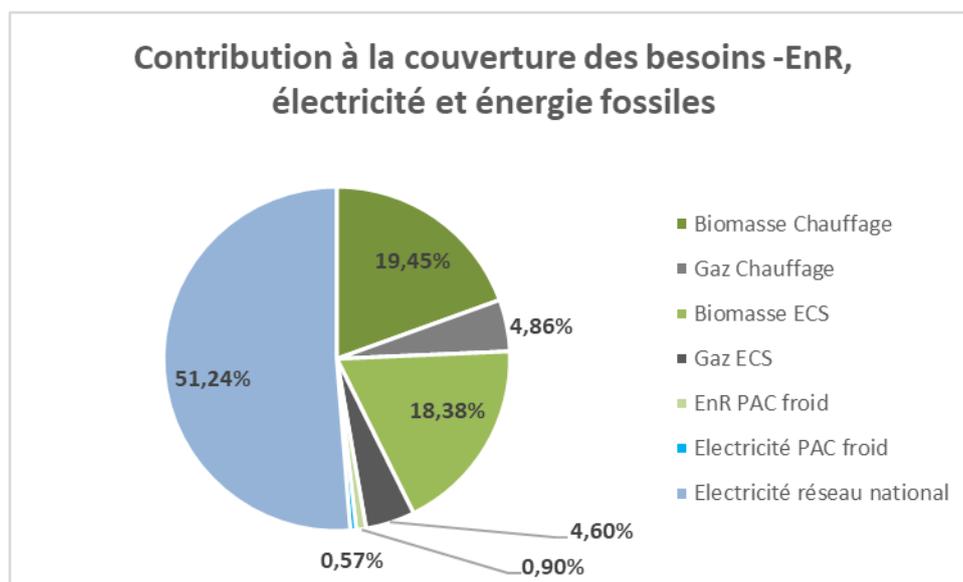
Bilan économique	Chaud ECS	Froid	Electricité	Global
Investissement total (€ TTC)	703 756	38 456	0	742 212
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	70,16	154,81	310	235,14
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	6,91	5,30	0	2,16
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	1,16	4,08	0	0,39
Efficacité financière	Chaud ECS	Froid	Electricité	Global
Temps de retour (années)	8	-	-	8
Coût moyen de l'énergie (€ TTC/MWh)	150	362	310	230

Bilan économique scénario numéro 2 – chaleur et froid

7.5.2 Résultats environnementaux

Bilan environnemental	Chaud ECS	Froid	Electricité	Global
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	3 360	108	7 555	11 024
Consommation d'énergie finale (MWhéf/an)	3 360	47	3 285	6 692
Part d'EnR sur le bilan global ⁵	82.50%	61.35%	0.00%	38.73%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	143,03	2,69	187,23	332,96

Bilan environnemental scénario numéro 2 – chaleur et froid



Scénario biomasse – Contribution des systèmes au taux EnR

⁵ La part ENR est calculée par rapport au bilan en énergie primaire

7.5.3 Conclusion scénario

Pour cette solution, l'investissement est supérieur au scénario de base du fait de l'installation de chaudière biomasse en remplacement de chaudière gaz (de 366k€ pour le scénario gaz à 704k€ pour le scénario avec chaudière bois). La solution de production de froid n'est pas modifiée par rapport au scénario de base. Cette solution présente un temps de retour sur investissement de 8ans. Ce temps de retour sur investissement relativement faible s'explique aussi par la montée des prix du gaz. Le taux de couverture de ce scénario en EnR est de 38%, ce qui permet de respecter le programme technique.

Consommation EP (MWhEp/an)	Investissement (€ TTC)	Entretien et maintenance (€ TTC/MWh)	Emissions de GES (teqCO2/an)	Part EnR
11 024	742 212	2.55	332.96	38.73%

Synthèse scénario biomasse

7.6 Scénario 3 – PAC Air/Eau et PAC Eau/Eau sur géothermie (GMI)

Ce scénario a pour ambition de proscrire l'utilisation du gaz. Ainsi, 70% des besoins en chaud de l'hébergement pénitentiaire seront assurés grâce à une PAC Eau/Eau sur nappe superficielle. En effet, l'étude du site a révélé un potentiel géothermique très important. Cependant et afin de rester sous le seuil de la géothermie de minime importance, il n'est pas possible d'avoir recours à la géothermie pour l'ensemble des besoins de chaud. Ainsi, le reste des besoins seront couverts grâce à des PAC Air/Eau. Les consommations de froid sont assurées une PAC Air/Eau.

Enfin, le réseau électrique national assure en totalité la couverture des besoins en électricité.

Typologie	Part de la surface totale	Système productif	Alimentation des besoins			
			Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Hébergement pénitentiaire	46.92%	<i>Géothermie</i>	70%	70%		
		<i>PAC Air/Eau</i>	30%	30%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Restauration	4.56%	<i>PAC Air/Eau</i>	100%	100%	100%	
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Tertiaire	30.97%	<i>PAC Air/Eau</i>	100%	100%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%
Enseignement	17.55%	<i>PAC Air/Eau</i>	100%	100%		
		<i>Réseau électrique national</i>				100%

Tableau récapitulatif scénario 3

7.6.1 Résultats économiques

Bilan économique	Chaud ECS	Froid	Electricité	Global
Investissement total (€ TTC)	986 717	33 956	0	1 020 673
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	60,18	206,43	309,67	254
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	8,49	5,30	0,00	1,94
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	3,25	3,60	0,00	0,76
Efficacité financière	Chaud ECS	Froid	Electricité	Global
Temps de retour (années)	6	-	-	6
Coût moyen de la chaleur (€ TTC/MWh)	406	345	310	331

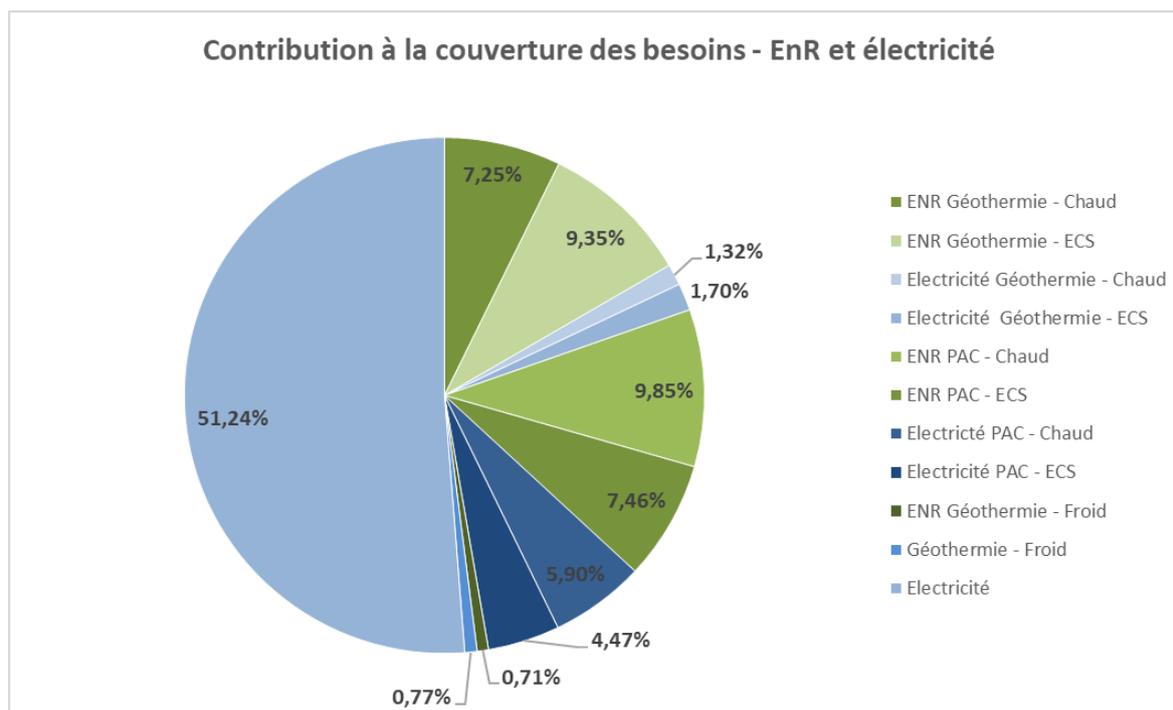
Bilan économique scénario 3 – Chaleur et froid

L'investissement étant pour partie mutualisé entre la production de froid et de chaud, celui-ci a été pondéré en fonction de l'utilisation pour les besoins de froid ou de chaud. En effet, la PAC de la restauration étant réversible elle répond aux consommations en chaud et en froid. Cette attribution au chaud ou au froid est artificielle, il n'est pas possible de dissocier l'investissement pour le chaud de l'investissement pour le froid de manière aussi nette.

7.6.2 Résultats environnementaux

Bilan environnemental	Chaud ECS	Froid	Electricité	Global
Consommation d'énergie primaire (MWhEp/an)	2 158	145	7 555	9 858
Consommation d'énergie finale (MWhEf/an)	938	63	3 285	4 286
Part d'EnR sur le bilan global ⁶	72%	48%	0.00%	34.62%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	53,48	3,58	187,23	244,30

Bilan environnemental scénario numéro 3 – chaleur et froid



Scénario géothermie – Contribution des systèmes au taux EnR

7.6.3 Conclusion scénario

La nécessité de réaliser un forage d'environ 50m de profondeur rend cette solution une des plus coûteuse en terme d'investissement. Le forage restant relativement peu profond l'investissement est seulement 250k€ plus important que pour le scénario biomasse. De plus, la mutualisation des équipements entre le chaud et le froid permet de limiter l'investissement de base. Enfin, si les coûts d'entretien et de maintenance sont plus élevés que la solution de base, le coût moyen de l'énergie est lui plus faible et permet de pérenniser les économies à long terme.

Le bilan environnemental est également plus intéressant (taux EnR 34.62%) que celui de la solution de base et permet de respecter le seuil de taux de couverture EnR du programme fixé à 10%. La géothermie est seulement prise en compte pour 70% des consommations de chauffage et d'ECS de la partie hébergement pénitentiaire afin de rester sous le seuil de la Géothermie de Minime Importance (GMI).

Consommation EP (MWhEp/an)	Investissement (€ TTC)	Entretien et maintenance (€ TTC/MWh)	Emissions de GES (teqCO ₂ /an)	Part EnR
9 858	1 020 673	2.70	244.30	34.62%

Synthèse scénario géothermie

⁶ La part ENR est calculée par rapport au bilan en énergie primaire

7.7 Scénario 3.bis – PAC Eau/Eau sur géothermie (hors GMI)

Ce scénario a pour ambition d'étudier une solution où la géothermie sur nappe superficielle répondrait à 100% des besoins du centre pénitentiaire. Cette solution signifie qu'il est nécessaire de sortir du cadre de la Géothermie de Minime Importance (GMI), ainsi les contraintes administratives sont plus importantes. 100% des besoins en chaud et froid de l'hébergement pénitentiaire, de la restauration, des locaux tertiaire et d'enseignement seront assurés grâce à une PAC Eau/Eau sur nappe superficielle. En effet, l'étude du site a révélé un potentiel géothermique très important. Cependant et afin de répondre aux besoins énergétiques si l'un des deux doublets nécessaires à la géothermie est en maintenance, 50% des besoins de chaud et de froid seront assurés par une PAC Air/Eau.

Enfin, le réseau électrique national assure en totalité la couverture des besoins en électricité.

Typologie	Part de la surface totale	Système productif	Alimentation des besoins			
			Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Hébergement pénitentiaire	46.92%	Géothermie	100%	100%		
		PAC Air/Eau	50%	50%		
		Réseau électrique national				100%
Restauration	4.56%	Géothermie	100%	100%	100%	
		PAC Air/Eau	50%	50%	50%	
		Réseau électrique national				100%
Tertiaire	30.97%	Géothermie	100%	100%		
		PAC Air/Eau	50%	50%		
		Réseau électrique national				100%
Enseignement	17.55%	Géothermie	100%	100%		
		PAC Air/Eau	50%	50%		
		Réseau électrique national				100%

Tableau récapitulatif scénario 3.bis

7.7.1 Résultats économiques

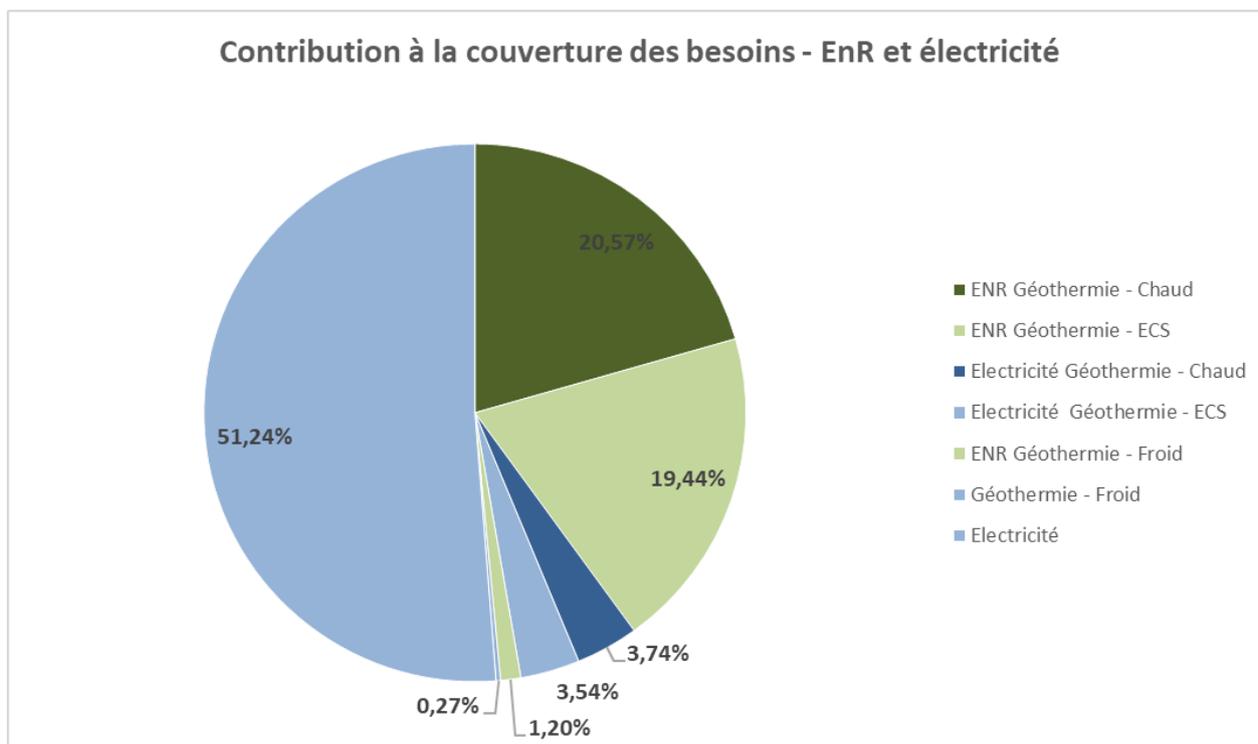
Bilan économique	Chaud ECS	Froid	Electricité	Global
Investissement total (€ TTC)	2 502 431	159 216	0	2 661 647
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	43,17	52,76	309,67	254
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	23,67	108,66	0,00	5,65
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	11,29	14,56	0,00	2,41
Efficacité financière	Chaud ECS	Froid	Electricité	Global
Temps de retour (années)	18	-	-	18
Coût moyen de la chaleur (€ TTC/MWh)	698	1 192	310	395

L'investissement de base est très important (4M€) pour ce scénario qui à recours à la géothermie pour l'ensemble des besoins. Cela s'explique pour deux raisons :

- Le forage de deux doublets (4 forages) de 50m de profondeur. Ces forages sont très coûteux (1000€ par m foré)
- La création d'un système énergétique de « secours » correspondant à des PAC Air/Eau. Ces PAC très coûteuse à l'achat sont la source principale qui explique cet investissement très important.

7.7.2 Résultats environnementaux

Bilan environnemental	Chaud ECS	Froid	Electricité	Global
Consommation d'énergie primaire (MWhEp/an)	1 944	74	7 555	9 573
Consommation d'énergie finale (MWhEf/an)	845	32	3 285	4 162
Part d'EnR sur le bilan global	79%	81%	23%	41,21%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	48,17	1,83	187,23	237



La nécessité de réaliser 4 forages d'environ 50m de profondeur chacun rend cette solution celle qui nécessite le plus d'investissement. Ce coût d'investissement s'explique aussi par l'investissement de 7 PAC Air/Eau répondant à 50% des besoins car le cas ou un des doublets serait hors service. Cependant, la mutualisation des équipements entre le chaud et le froid permet de limiter l'investissement de base. Enfin, si les coûts d'entretien et de maintenance sont plus élevés que la solution de base, le coût moyen de l'énergie est lui plus faible et permet de pérenniser les économies à long terme.

Le bilan environnemental est également le plus intéressant (taux EnR 41.21%) de tous les scénarios et permet de respecter le seuil de taux de couverture EnR du programme fixé à 10%. Ce scénario ayant recours à la géothermie pour 100% des besoins du centre pénitentiaire, **ce scénario sort de la Géothermie de Minime Importance (GMI)**. Ainsi, un dossier de demande d'autorisation devra être déposé.

Consommation EP (MWhEp/an)	Investissement (€ TTC)	Entretien et maintenance (€ TTC/MWh)	Emissions de GES (teqCO ₂ /an)	Part EnR
9 573	2 661 647	8.05	237.23	41.21%

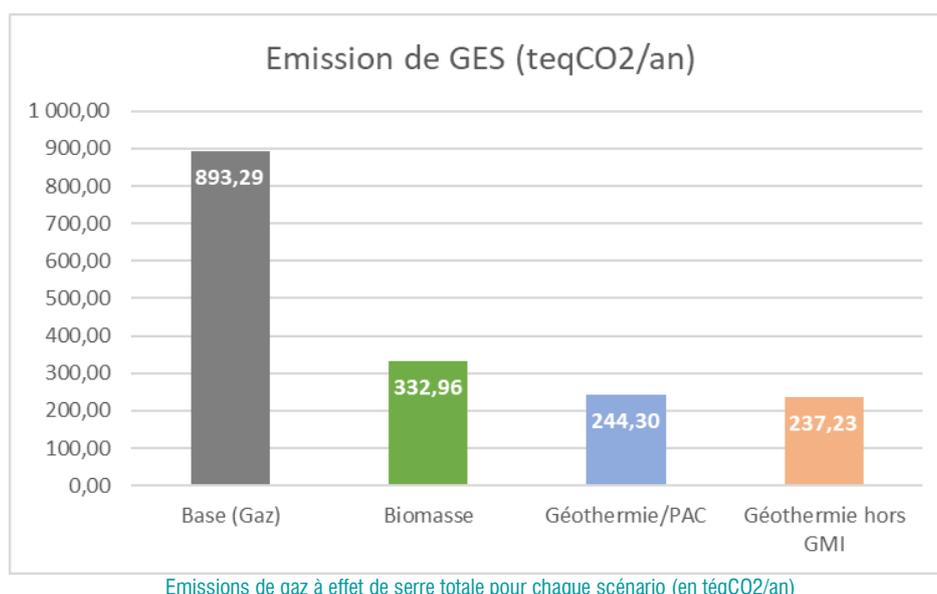
Synthèse scénario géothermie

8 Synthèse

8.1 Bilan environnemental

Un des principaux indicateurs pour mesurer le bilan environnemental des scénarios est l'émission de gaz à effet de serre. Un second indicateur intéressant est le « ratio de consommation de ressources » : il représente le rapport entre l'énergie primaire consommée et la consommation totale, et permet d'observer ce qui est prélevé à la planète en fonction des scénarios. Enfin, le taux EnR, qui mesure la part d'énergies d'origines renouvelables par scénario constitue également un indicateur intéressant. La comparaison des différents scénarios étudiés se fera ainsi sur la base de ces trois indicateurs.

8.1.1 Emission de gaz à effet de serre



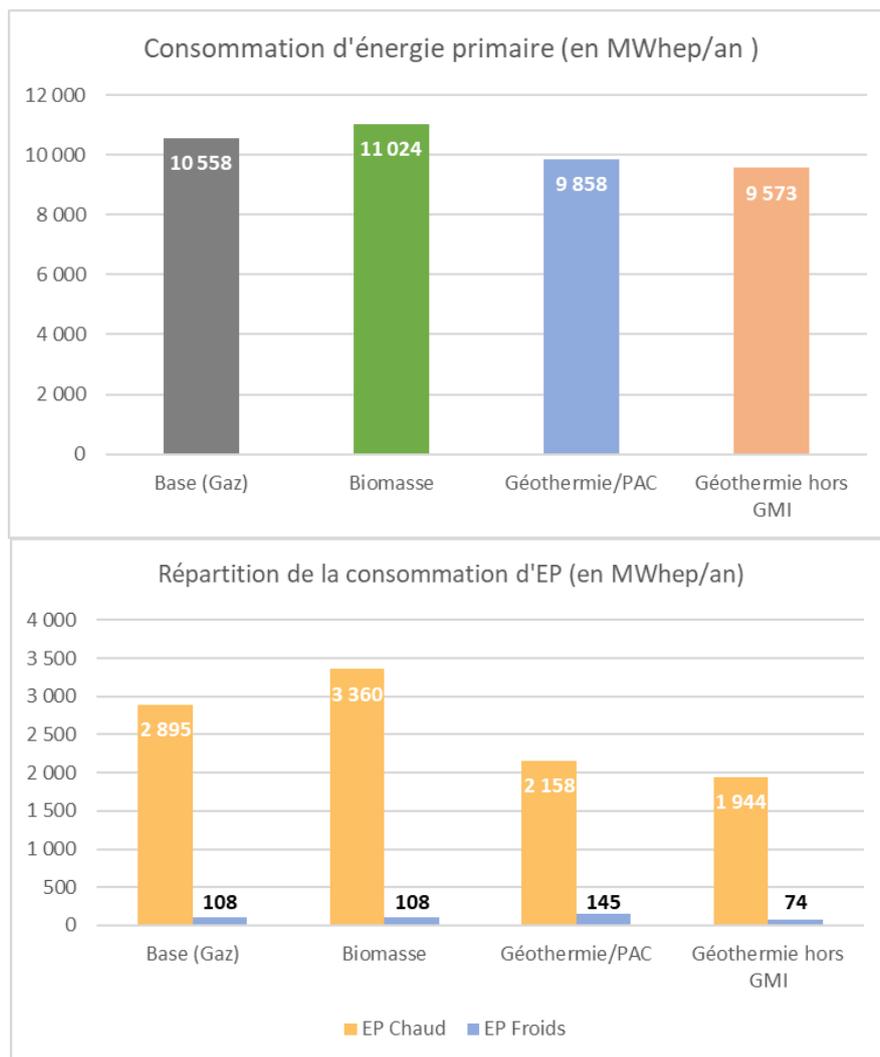
Le total des émissions de GES représente la somme des émissions de GES liées à la production de chaleur, de froid et d'électricité. Ici, les quatre scénarios ayant recours aux mêmes solutions pour l'énergie électrique, la différence se fait uniquement sur la production de chaud + ECS et de froid.

Le scénario de base a très majoritairement recours au gaz (pour 100% du chauffage et 96% des besoins d'ECS). 4% des consommations d'ECS sont fournies à travers 300m² de solaire thermique. Ce faible pourcentage s'explique par une consommation d'ECS en restauration et hébergement bien plus importante que pour les espaces tertiaires et d'enseignement.

Le scénario n°2 se différencie par l'utilisation de chaudière biomasse avec appoint gaz pour la production de chaleur. Le scénario n°3 utilise la géothermie pour remplacer une partie des besoins de froid et de chaleur : la PAC géothermique présente un meilleur rendement que celle du scénario de base et la production de chaleur se fait à travers des PAC Air/Eau. Le scénario 3.bis est celui qui a recours à la géothermie pour 100% des besoins en chaud/ESC et froid du centre pénitentiaire.

Le scénario de base est ainsi le scénario émettant le plus de GES avec 893.29 teqCO2/an. Le scénario n°2 est source de 332.96 teqCO2/an (notamment dû à l'appoint gaz) soit une diminution de 62% des émissions de GES. Enfin, les deux derniers scénarios sont les plus vertueux avec une émission de respectivement 244.30 teqCO2/an et 237.23 teqCO2/an pour les scénarios 3 et 3.bis. Ces émissions représentent une diminution d'environ 72% comparé au scénario de base et de 26% comparé au scénario n°2. Cela s'explique par l'absence totale de gaz dans ces solutions.

8.1.2 Consommation d'énergie primaire



Consommation d'énergie primaire pour la chaleur, le froid et totale – Comparatif solutions

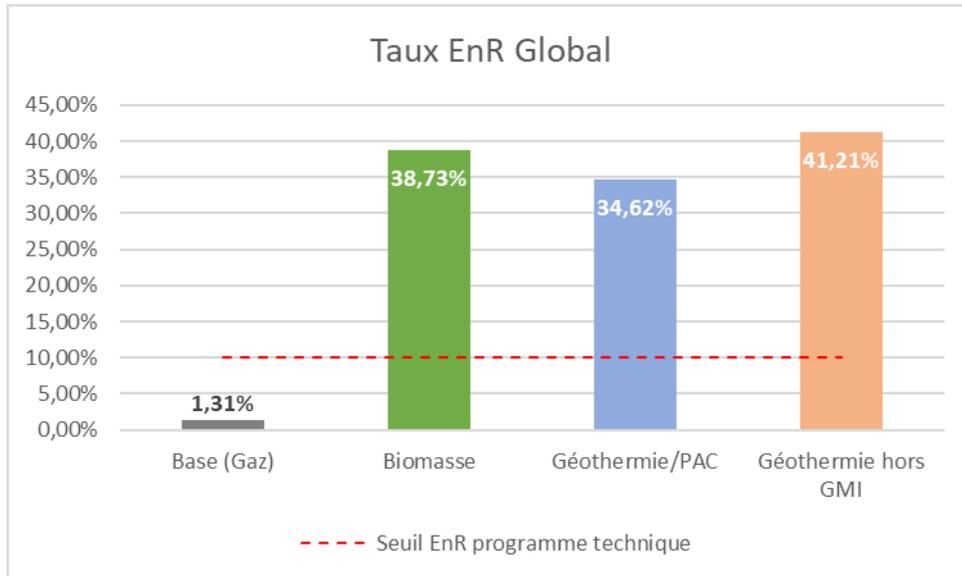
La consommation en énergie primaire pour les besoins de froid est la même pour le scénario gaz et biomasse.

La solution biomasse présente des consommations d'énergie primaire légèrement supérieures à la solution de base notamment du fait du rendement plus faible des chaudières biomasse (87.5%) par rapport aux chaudières gaz à condensation (103%). Ainsi pour produire la même quantité d'énergie finale, la solution biomasse nécessite plus d'énergie primaire.

Le scénario géothermie associant PAC géothermique et PAC Air/Eau consomme largement moins d'énergie primaire que le scénario de base : cela s'explique par le très bon COP de la PAC sur nappe superficielle mais aussi par le bon COP des PAC Air/Eau qui alimentent notamment les espaces tertiaires, de restauration et d'enseignement. Enfin, le scénario n°3.bis qui a recours à de la géothermie pour l'ensemble des besoins du centre pénitentiaire possède les meilleurs résultats au niveau de la consommation en énergie primaire. Cela s'explique par le très bon COP des PAC dans le cas de la géothermie sur nappe superficielle.

8.1.3 Taux EnR

Les taux ENR ont été calculé par rapport aux bilans en énergie primaire.



Le scénario de base apparaît le moins ambitieux : cela s'explique principalement par l'énergie gaz utilisée pour la production de chaleur (chauffage et ECS) de l'ensemble du site. Une part d'énergie renouvelable est tout de même présente avec l'utilisation de panneaux solaires thermiques pour la production d'ECS des espaces tertiaires et de restauration. Les PAC pour la production de froid ont également une part EnR. Ces systèmes ne permettent pas d'atteindre le seuil fixé au programme.

Le scénario biomasse présente le deuxième meilleur taux EnR avec un taux de 38.73%. Cela s'explique par l'utilisation de bois comme source principale de production de chaleur et d'ECS.

Le scénario géothermie, est légèrement moins vertueux que le précédent, mais permet de respecter le programme avec un taux d'EnR de 34.62%. Les énergies dites renouvelables des différents PAC proviennent de l'utilisation des calories de l'eau dans le cas de la géothermie et des calories de l'air dans le cas des PAC Air/Eau.

Le dernier scénario qui a recours à de la géothermie pour l'ensemble de ses besoins est celui qui possède de taux d'ENR le plus important. La quasi-totalité des besoins et chaud et en froid sont assurés par une énergie renouvelable.

8.2 Bilan financier

En parallèle du bilan environnemental, le bilan économique et financier global des différents scénarios peut être synthétisé avec plusieurs indicateurs tels que l'investissement, le coût des différentes énergies (chaud, froid, électricité) et le temps de retour sur investissement.

Scénarios	Solution	Investissement (€ TTC)	Coût de l'énergie chaud moyen (€ TTC/MWh) sur 30ans	Coût de l'énergie froid moyen (€ TTC/MWh) sur 30ans	Coût de l'électricité moyen (€ TTC/MWh) sur 30ans	Temps de retour sur investissement en comparaison au scénario de référence
Base (Gaz)	Chaudière gaz	35 946 €	301,70	154,81	305,89	-
	Groupes froids	38 456 €				
	Solaire thermique	330 000 €				
Biomasse	Chaudière biomasse	666 876 €	70,16	154,81	235,14	8
	Appoint gaz	35 946 €				
	Groupes froids	38 456 €				
Géothermie/PAC	Forage	100 000 €	60,18	206,43	253,54	6
	PAC sur nappe	483 000 €				
	Appoint PAC Air/Eau	220 006 €				
	PAC Air/Eau	183 711 €				
	PAC Froid	33 956 €				
Géothermie hors GMI	Forage	200 000 €	43,17	52,76	253,57	18
	PAC Chaud	1 690 500 €				
	PAC Froid	115 500 €				
	Secours PAC Air/Eau	655 647 €				

Le bilan financier global met en avant la rentabilité de chaque scénario sur une période de 30 ans :

- Le scénario de base présente un investissement relativement conséquent notamment du fait de l'installation solaire thermique, il reste tout de même le scénario avec l'investissement initial le plus faible. Le coût de l'énergie moyen (chaud) est quant à lui le plus élevé. Cela s'explique par l'augmentation récente du prix du gaz.
- Le scénario 2 biomasse, du fait du lourd investissement pour la production de chaleur et de la nécessité de multiplier les équipements pour assurer la production de froid présente un temps de retour sur investissement de 8ans. Ce temps est relativement faible du fait de l'augmentation du prix du gaz. Le prix du bois est quant à lui moins soumis aux variations tarifaires.
- Le scénario 3 géothermie est rentabilisé en 6ans, la PAC géothermique est réversible donc limite la multiplication des systèmes de production de chaleur et de froid. Cependant, l'investissement nécessaire est d'environ 900k€. Cela s'explique par le forage qui est très coûteux (1000€/m foré).
- Le dernier scénario est celui qui possède le temps de retour sur investissement le plus important. Cela s'explique par l'investissement de deux doublets de géothermie sur nappe superficielle et d'un système de secours composé de PAC Air/Eau. Ainsi, le temps de retour sur investissement est de 18ans.

8.3 Conclusion

Le scénario de base avec chaudière gaz et intégration de panneaux solaires thermiques ne permet pas de respecter le programme technique de l'opération. Ainsi, cette solution est écartée.

Les trois autres scénarios, bien plus vertueux présentent eux des taux d'EnR entre 34 et 41%, ainsi ils respectent le programme technique.

La solution la plus vertueuse sur le plan environnemental est le dernier scénario avec 7 PAC sur nappe superficielle. En effet, ce dernier scénario consomme le moins d'énergie primaire et son taux d'EnR est de 41.21%. Ce taux d'EnR s'explique aussi par l'absence de gaz. De ce fait, c'est aussi le scénario qui émet le moins de CO2. Il est à noter que ce scénario **intègre un système de secours au cas où un des deux doubles serait hors service**. Une étude devra être réalisée afin de confirmer l'utilité de ce système.

Un autre scénario presque tout aussi vertueux mais qui nécessite moins d'investissement initial est le scénario n°3. Ce scénario qui reste sous la Géothermie de Minime Importance (GMI) permet un allègement des contraintes administratives tout en étant très vertueux.

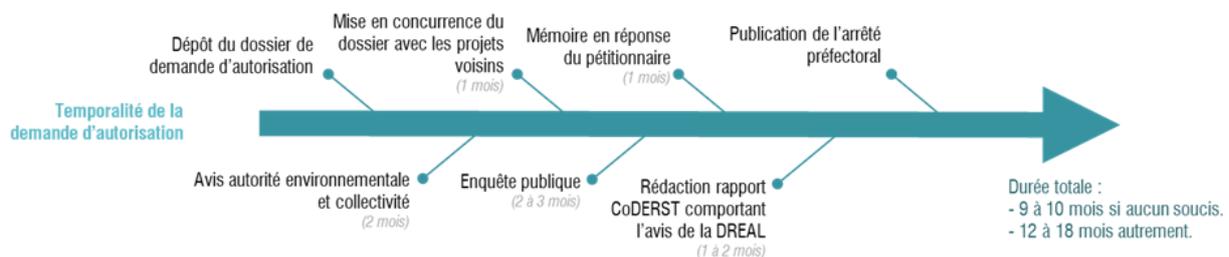
La solution biomasse est aussi vertueuse, avec un temps de retour sur investissement de 8ans. Si l'APIJ peut en bénéficier, la prise en compte des aides (fonds chaleurs ADEME) permettrait de compenser une partie du surinvestissement et d'améliorer nettement le temps de retour sur investissement. Cette solution présente cependant des contraintes techniques liées à la nécessité d'approvisionner le silo depuis l'extérieur du mur d'enceinte. De plus et du fait de l'appoint gaz, cette solution bien que vertueuse émet une quantité importante de GES (26% de plus que le scénario n°3).

Le potentiel de la nappe est très fort et peut fournir plus d'énergie au centre pénitentiaire. Si la décision de réaliser de la géothermie hors minime importance est prise, **le dossier de demande d'autorisation** devra contenir notamment :

- Une **étude d'impact** ou la mise à jour du volet géothermie de l'étude d'impact déjà existante
- Un document de sécurité et santé
- Les conditions d'arrêt des travaux
- L'évaluation des impacts sur la ressource en eau

La demande d'autorisation s'accompagne d'une enquête publique d'une durée de 1 mois. La décision est ensuite délivrée par arrêté préfectoral.

Il est à noter que **le dépôt et l'instruction des permis de construire sont décorrélés du dépôt et de l'instruction des demandes d'autorisation au titre du code minier.**



Durant l'instruction du dossier les services de la DREAL et de l'Etat compétent disposent d'un mois pour confirmer si le dossier est recevable et faire si nécessaire les demandes de pièces complémentaires. Un échange avec les services instructeurs de la ville, de la DDT et de la DREAL est prévu pour étudier les possibilités de déposer le dossier de demande d'autorisation en parallèle des dossiers PC au regard du code de l'urbanisme.

Scénario	Technique	Economique	Environnemental
Base (Gaz)	Mise en œuvre facile des systèmes énergétiques	Scénario peu coûteux pour la production de froid et de chaud. Investissement relativement élevé pour les installations solaires thermiques	Recours important à l'énergie gaz fossile. Emission de GES très importantes.
Biomasse	Nécessite de réserver un espace pour la chaudière et le silo de stockage. Silo à intégrer près du mur d'enceinte pour la livraison. Multiplicité des systèmes énergétiques avec groupe froid et appoint gaz.	Rentabilité économique au bout de 8ans sur la production de chaleur et de froid.	Solution très vertueuse pour la partie chauffage et ECS. Un appoint gaz émet une certaine quantité de GES.
Géothermie /PAC	Puissance limitée si GMI et contraintes supplémentaires si puissance géothermique > 500 kW (hors GMI)	Rentabilité économique au bout de 8ans sur la production de chaleur et de froid. Réduction de la consommation de ressources et réduction des charges	Taux d'EnR légèrement inférieur au scénario n°2.
Géothermie hors GMI	Contrainte administratives importantes, nécessité d'anticiper.	Rentabilité économique au bout de 18ans avec un système de secours PAC. Le choix du système de secours est prépondérant dans le temps de retour sur investissement. Réduction de la consommation de ressources et réduction des charges	Scénario émettant le moins de GES grâce à un production de chaud, de froid et d'ECS grâce à de la géothermie.

Scénario	Consommation EP (Mwhep/an)	Investissement (€ TTC)	Entretien et maintenance (€/an)	Charges d'exploitation (€/an)	Emissions de GES (teqCO2/an)	Part EnR	TRI (nombre d'années)
Base (Gaz)	10 558	404 402	7 073	1 917 096	893	1.31%	-
Biomasse	11 024	742 212	28 111	1 277 352	333	38.73%	8
Géothermie/PAC	9 858	1 020 673	26 616	1 098 230	244	34.62%	6
Géothermie hors GMI	9573	2 661 647	77 062	1 088 882	237	41.21%	18

Des solutions supplémentaires non étudiées dans l'étude mais pouvant intervenir en complément des solutions de production d'énergie principales pourraient être envisagées sur le projet par le MOE :

- Récupération de chaleur sur eaux grises, notamment dans les espaces de restauration (eaux de vaisselle, de cuisine...) et hébergement (douches) pour réaliser un préchauffage des ECS et réduire les besoins conséquents de ces espaces.
- Chaudière numérique, dans le cas où le projet serait éligible à la fibre optique pour les réseaux de communications en solution complémentaire de production d'ECS.

9 Glossaire

COP	Coefficient de performance <i>(Le coefficient de performance, ou COP, d'une pompe à chaleur est le quotient de la chaleur produite par le travail fourni)</i>
ECS	Eau Chaude Sanitaire <i>(eau chauffée pour des usages domestiques)</i>
EF	Energie Finale <i>(voir 1.1.2)</i>
ENR	Energie Renouvelable <i>(sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain)</i>
EP	Energie Primaire <i>(voir 1.1.1)</i>
GES	Gaz à Effet de Serre <i>(composants gazeux qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et contribuent ainsi à l'effet de serre)</i>
kW	Kilowatt <i>(Unité de puissance, multiple du watt, et valant 1000 watts.)</i>
kWh	Kilowattheure <i>(unité d'énergie, Si de l'énergie est produite ou consommée à puissance constante sur une période donnée, l'énergie totale en kilowatts-heure est égale à la puissance en kilowatts multipliée par le temps en heures)</i>
MO	Maîtrise d'Ouvrage
MW	Mégawatt <i>(Unité de puissance, multiple du kw, et valant 1000 kw.)</i>
MWh	Mégawattheure <i>(Unité d'énergie, multiple du wh, et valant 1000 wh)</i>
PAC	Pompe à chaleur
PV	Photovoltaïque
RDC	Réseau de Chaleur
RT	Réglementation Thermique
SH	Solaire Hybride
ST	Solaire Thermique
TTC	Toutes Taxes Comprises
VAN	Valeur Actuelle Nette <i>(indicateur financier qui mesure la valeur créée par un investissement et constitue le critère déterminant pour choisir un projet.)</i>

