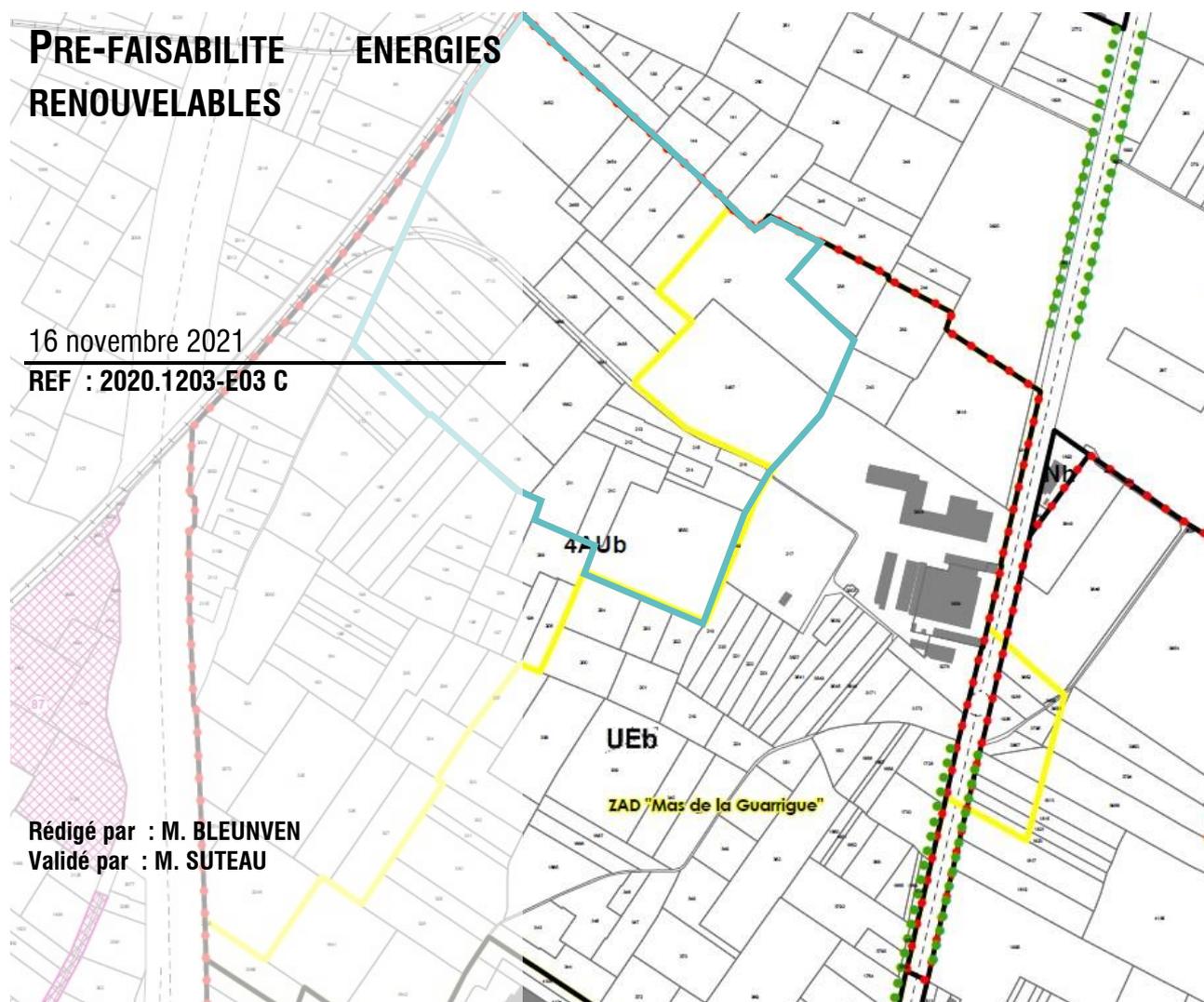


ETABLISSEMENT PENITENTIAIRE RIVESALTES (66)



Sommaire

	Suivi des versions	3
1	Contexte	4
1.1	Contexte réglementaire	4
1.2	Contexte du site.....	5
2	Construction de la stratégie énergétique	6
2.1	Stratégie et cohérence avec la transition énergétique et environnementale actuelle	6
2.2	Stratégie adoptée sur le projet.....	6
3	Analyse des besoins énergétiques	8
3.1	Description des besoins estimés.....	8
3.2	Programmation.....	8
3.3	Bilan énergétique	8
4	Inventaire du potentiel en énergies renouvelables	11
4.1	Les réseaux de chaleur	11
4.2	La géothermie	12
4.3	Les énergies de récupération	15
4.4	La biomasse.....	17
4.5	L'énergie solaire	19
4.6	L'éolien	22
4.7	Bilans atouts / contraintes.....	24
5	Proposition de scénarios énergétiques à étudier.....	26
5.1	Scénarios proposés.....	26
6	Analyse technico-économique.....	27
6.1	Hypothèses	27
6.2	Description des indicateurs économiques.....	27
6.3	Description des indicateurs environnementaux	27
6.4	Scénario 1 – Base	28
6.5	Scénario 2 – Chaudière biomasse appoint gaz et groupes froids	31
6.6	Scénario 3 – Géothermie sur nappe superficielle avec appoint gaz	33
7	Synthèse.....	36
7.1	Bilan environnemental.....	36
7.2	Bilan financier.....	39
7.3	Conclusion	40
8	Glossaire	41

Suivi des versions

Indice	Date	Commentaire
A	26/07/2021	Première version
B	15/10/2021	Màj surfaces (SU vers SHON), ratios consommations, scénarios d'approvisionnement
C	16/11/2021	Màj part EnR des différents scénarios

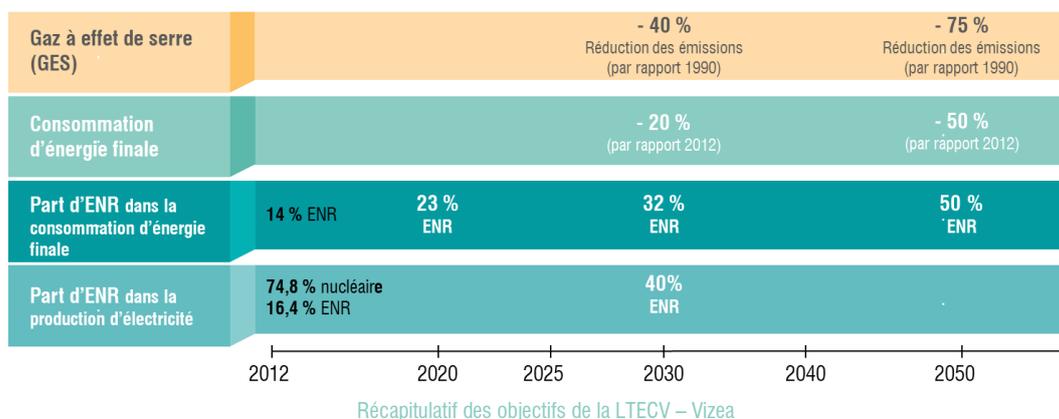
1 Contexte

L'opération concerne la construction d'un établissement pénitentiaire d'une capacité de 515 personnes d'une surface d'environ 35 000 m² SDP en région Occitanie dans le département des Pyrénées Orientales (66). Elle s'intègre dans un contexte de lutte contre la surpopulation en milieu carcéral, dans une logique d'amélioration de la prise en charge des personnes détenues et des conditions de travail du personnel pénitentiaire.

1.1 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.

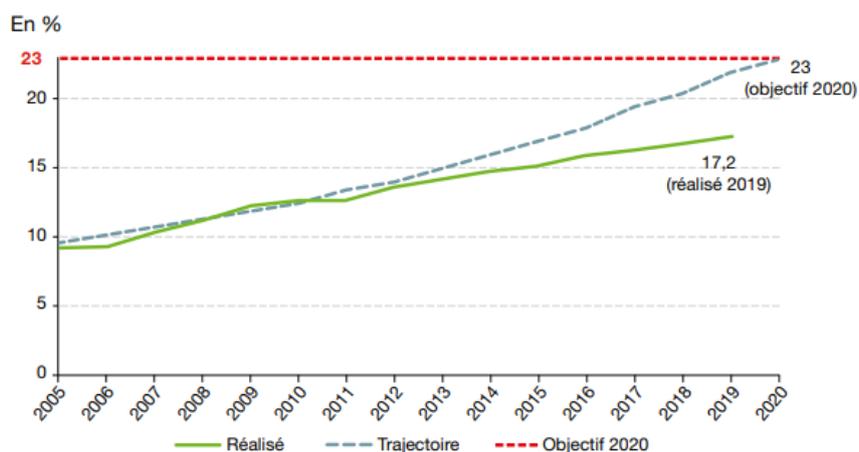


Une nouvelle loi venant compléter la LTECV a été adoptée en 2019 : **la Loi Energie Climat (LEC)**. L'objectif de cette loi est d'**atteindre la neutralité carbone à l'échéance 2050**. Elle se concentre sur trois objectifs principaux à savoir :

- 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 projet, l'objectif est d'orienter le projet vers une stratégie énergétique efficace à différents niveaux : économique, technique et environnemental.

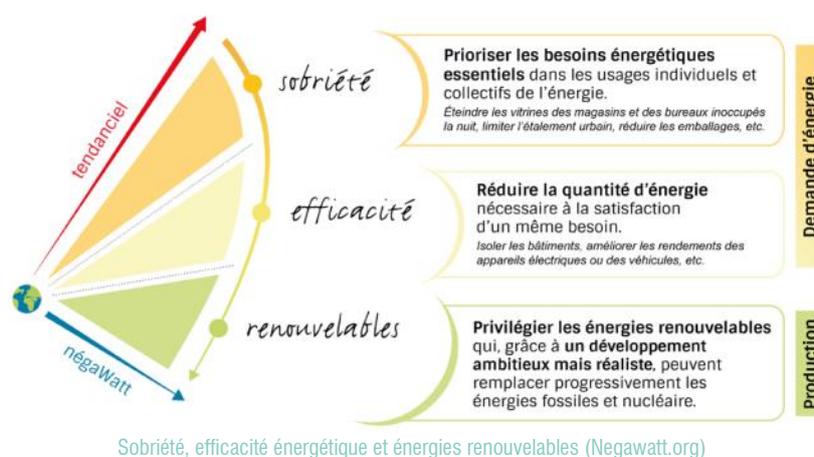
1.2 Contexte du site

La parcelle retenue pour réaliser le projet est située à Rivesaltes, à environ 10 km au Nord du centre-ville de Perpignan. Elle est actuellement occupée par de grands espaces agricoles, dont la plupart sont encore exploités (vignes).

2 Construction de la stratégie énergétique

2.1 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.



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.

2.2 Stratégie adoptée sur le projet

Les besoins d'énergie des bâtiments ont été calculés sur la base de la nouvelle réglementation environnementale des bâtiments (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, ratels 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 :

$$CEP_{max} = 50 * M_{Ctype} * (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{c surf} + M_{c GES})$$

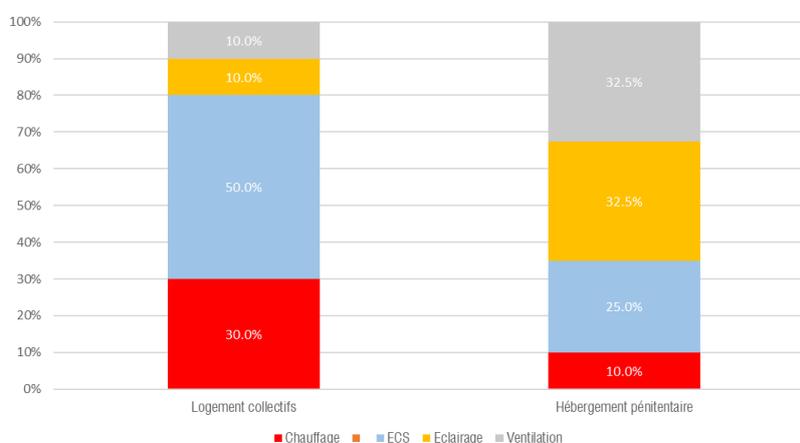
Avec le coefficient M_{Ctype} variant entre 1 et 1.2 selon la catégorie CE1 ou CE2.

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

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

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

Appliqué au projet, le calcul du Cep,max sur les quartiers d'hébergements donne 198 kWh/m².SDP (soit 138,6 pris en compte pour l'étude en appliquant une réduction de 30%).



Part des besoins énergétiques selon les postes réglementaires RT2012

Les besoins sont ainsi bien supérieurs à ceux d'une typologie logement collectif du fait du coefficient M_{Ctype} 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 étudié pour déterminer différents scénarios d'approvisionnement énergétique et orienter le projet.

3 Analyse des besoins énergétiques

3.1 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).

3.2 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** : Quartiers (unité d'hébergement & gestion de quartier) / UVF / personnel hors détention / personnel hors enceinte (hébergement temporaire) / SMPR.
- **Tertiaire** : Quartiers (espaces socio-éducatifs & locaux communs) / Locaux personnel en enceinte / Parloirs avocats / Parloirs / PCD / Administration / Greffe / PEL – PEP / Accueil des familles / Personnel hors enceinte (hors mess, cafétéria, hébergement temporaire) / Unité sanitaire / PIPR / Services personnes (hors restauration détenus) / Services bâtiment / Ateliers.
- **Restauration** : Personnel hors enceinte (mess & cafétéria), service personne (restauration détenus).

Espaces	Performance	Surface (m ²)
Hébergement	RT2012-30%	15 962
Restauration		1 621
Tertiaire global		16 664
Total		34 247

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

3.3 Bilan énergétique

L'étude des besoins énergétiques permet de connaître la répartition entre les 4 catégories de besoins présentées ci-dessous. Ces besoins 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.

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...)

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 besoins sont issus des retours expérience Vizea ;
- **Hébergement pénitentiaire** : les besoins sont calculés à partir des ratios CEPmax issus du document de définition des exigences RT2012 de l'APIJ. Les besoins ECS sont calculés à partir d'une consommation de 50L/jour/détenu et répartis entre l'hébergement pénitentiaire et la restauration.
- **Restauration** : les besoins ECS sont également calculés à partir d'une consommation de 50 L/jour/détenus et répartis entre l'hébergement pénitentiaire et la restauration.

Il est à noter que :

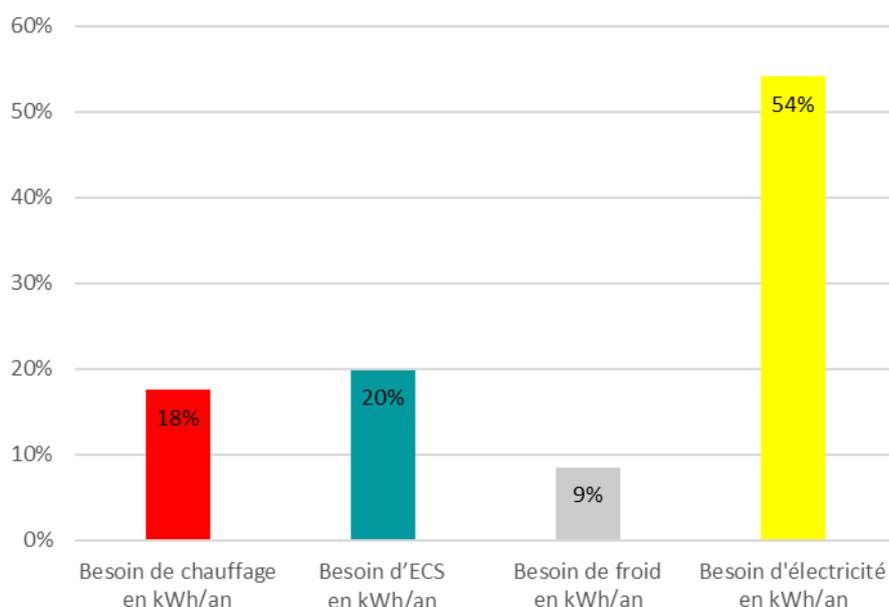
- Les usages spécifiques de l'électricité ne sont pas pris en compte ;
- Les valeurs des besoins sont adaptés en fonction des plages d'occupation pour certains usages associés « tertiaires » (ex : boulangerie occupation demi-journée).

Bâtiment	Performance	Surface (m ²)	Besoin de chauffage en kWh/an.m ²	Besoin d'ECS en kWh/m ² .an	Besoin de froid en kWh/m ² .an	Besoin d'électricité en kWh/m ² .an
Hébergement pénitentiaire	RT2012-30%	15 962	13.58	31.60	0.00	91.30
Restauration	RT2012-30%	1 621	19.50	67.40	15.40	15.84
Tertiaire global	RT2012-30%	16 664	18.94	1.50	14.96	15.38

Ratios de besoins nécessaire par typologie de bâtiment et usage

Bâtiment	Performance	Surface (m ²)	Besoin de chauffage en kWh/an	Besoin d'ECS en kWh/an	Besoin de froid en kWh/an	Besoin d'électricité en kWh/an	Puissance chaud (kW)	Puissance froid (kW)
Hébergement pénitentiaire	RT2012-30%	15 962	216 764	504 399	0	1 457 331	777	0
Restauration	RT2012-30%	1 621	31 610	109 255	24 963	25 677	50	50
Tertiaire global	RT2012-30%	16 664	315 573	24 921	249 222	256 342	635	498
Total		34 247	563 947	638 575	274 185	1 739 350	1 462	548
Part		-	18%	20%	9%	54%		

Bilan des besoins énergétiques



Bilan des besoins énergétiques

Les besoins en électricité (54%) 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 (18%) et d'ECS (20%) 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 (9%) sont les moins élevés : les hébergements ne sont pas considérés refroidis.

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.

4 Inventaire du potentiel en énergies renouvelables

4.1 Les réseaux de chaleur

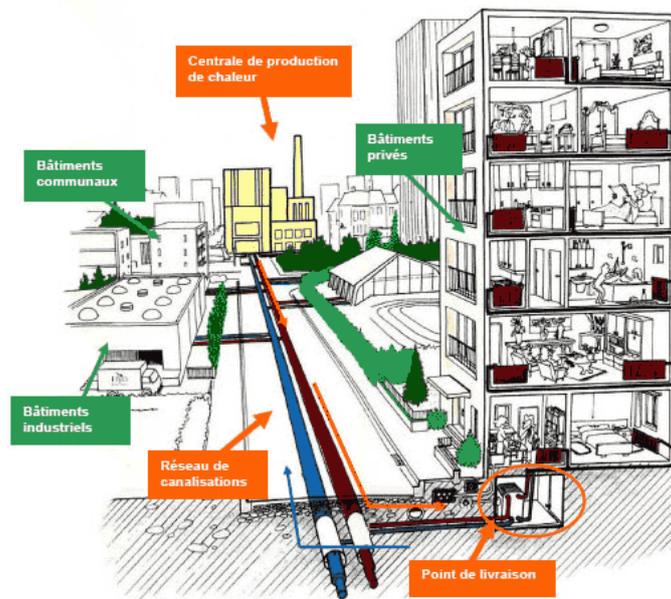
4.1.1 Les réseaux de chaleur existants

La commune de Perpignan est équipée d'un réseau de chaleur urbain alimenté par l'incinérateur de Calces mais celui-ci est apparemment trop éloigné du site de l'opération pour envisager un raccordement.

4.1.2 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

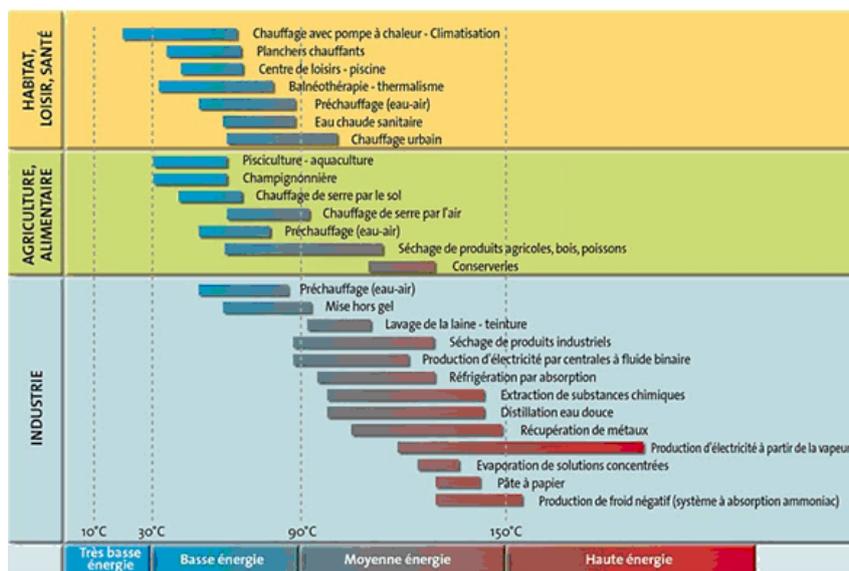
La création d'un réseau de chaleur à l'échelle de l'établissement pénitentiaire peut s'avérer intéressante devant le nombre de bâtiments différents à alimenter en chaleur.

La création d'un réseau de chaleur à l'échelle de l'extension de la ZE du Mas de la Garrigue 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.

4.2 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

4.2.1 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



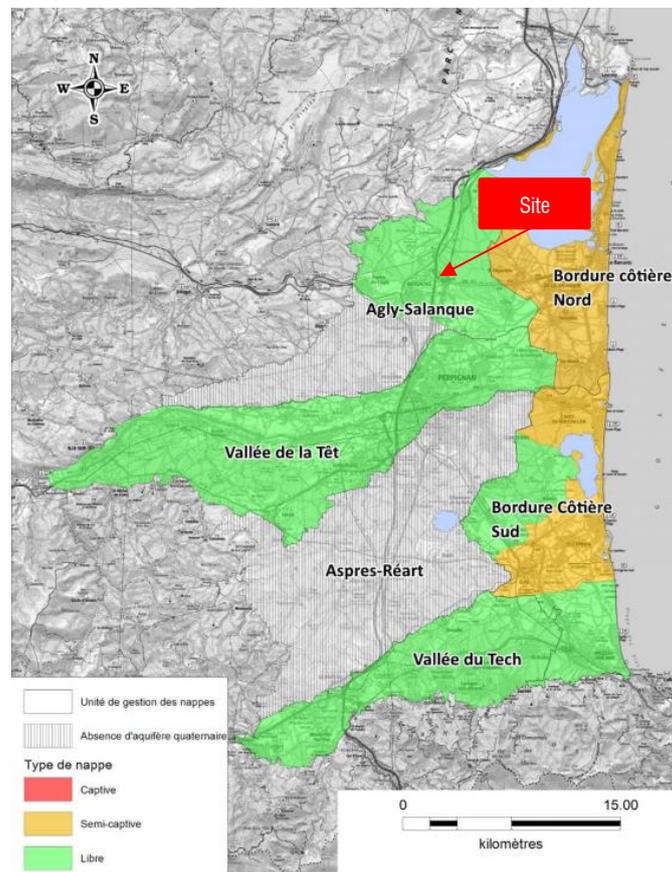
Potentiel de l'aquifère (source : BRGM)

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.

4.2.2 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 libre est présente au niveau du site retenu dont la profondeur est comprise entre 2m et 7m de profondeur.

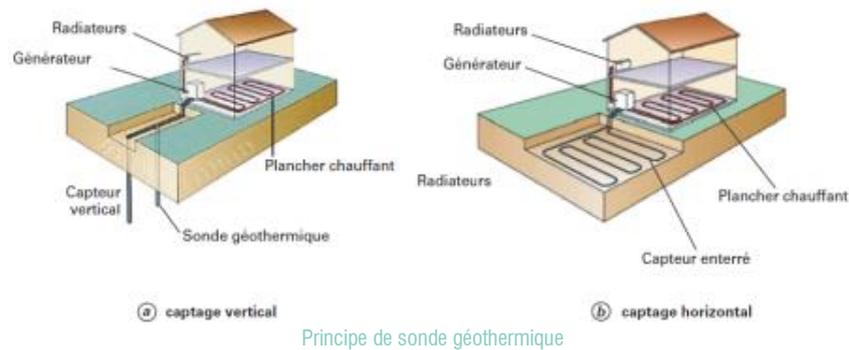
La solution géothermie superficielle pourrait être intéressante, en l'associant à des systèmes d'appoint pour assurer la production de chaleur et de froid sur le projet.

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.

Les données concernant l'exploitation de la nappe pour la géothermie manquent actuellement de précisions. Afin de permettre au 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.

4.2.3 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 65 sondes (soit plus de 5 000 m²) seraient nécessaires pour obtenir la même puissance qu'une installation d'un forage de géothermie sur nappe superficielle. De plus, du fait de la présence d'une nappe superficielle et pour limiter l'emprise au sol, cette solution n'est pas pertinente.

La géothermie sur champ de sondes horizontales n'apparaît pas pertinente 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.

4.3 Les énergies de récupération

4.3.1 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.

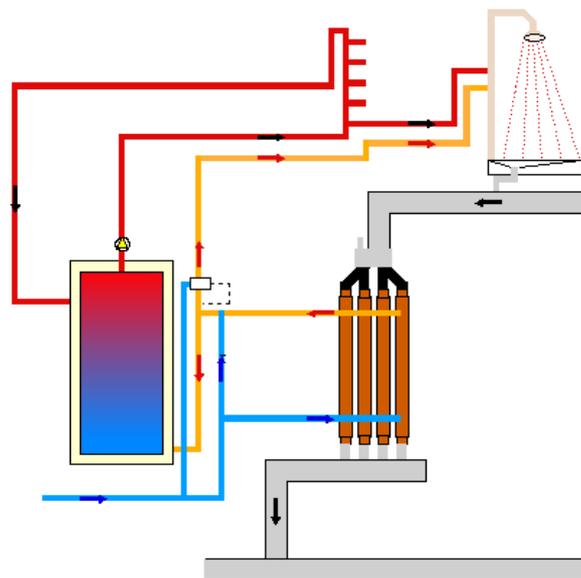


Schéma de principe de la récupération de chaleur sur eaux grises (source : GAIA GREEN)

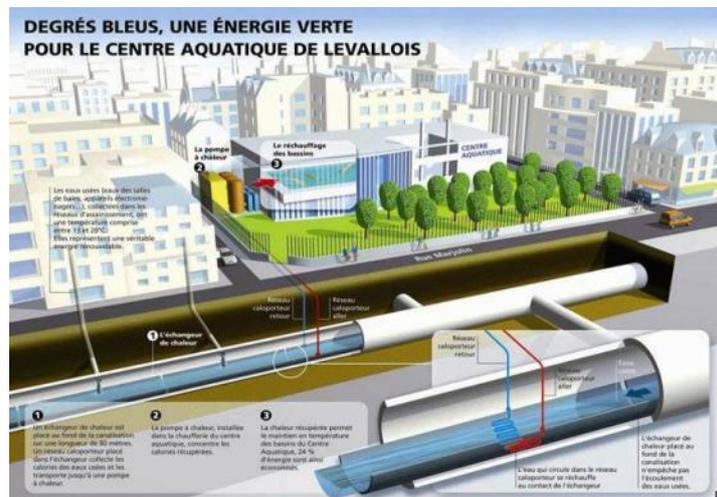
Les besoins d'ECS élevés pour les bâtiments d'hébergement rendent assez intéressant ce type de système. Il pourrait également être envisagé sur les espaces de restauration.

4.3.2 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.

4.3.3 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.

4.4 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.

4.4.1 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 dédiée 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.

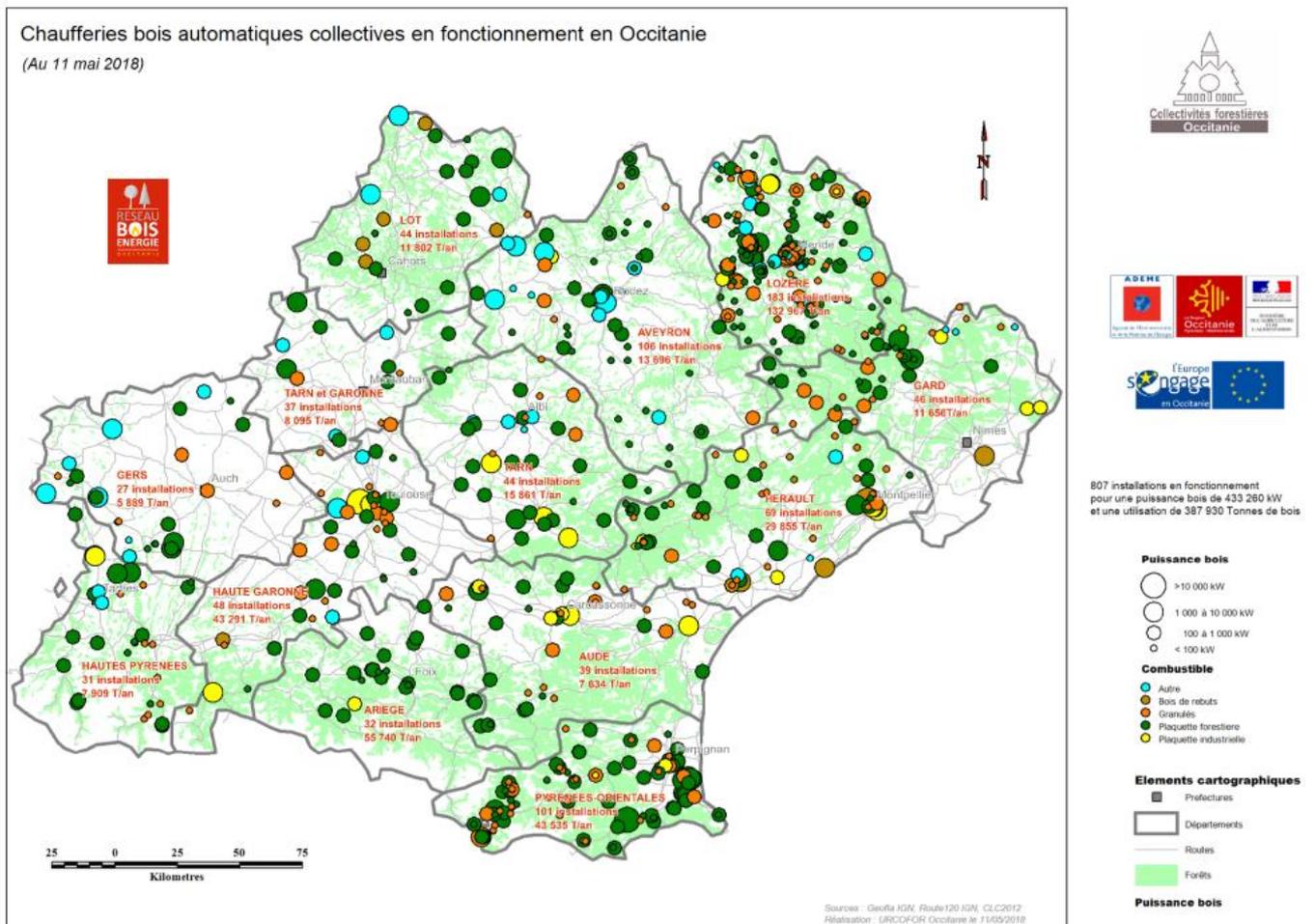
La problématique de l'approvisionnement devra être intégrée rapidement par le concepteur si le projet s'oriente vers une solution biomasse : accès des livraisons, surfaces dédiées dans un ou plusieurs bâtiments.



Livraisons de granulés par camion souffleur

4.4.2 Ressources

Le Schéma Régional Biomasse de la région Occitanie (2019) montre une utilisation importante de la ressource bois-énergie dans le département Pyrénées-Orientales et particulièrement la ressource plaquette forestière bien implantée en Pyrénées-Orientales (zones forestières). La ressource bois énergie est abondante dans la région : les simulations de dynamisation de la gestion montrent une augmentation de la disponibilité de 1.4 millions de m3 d'ici 2036.



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

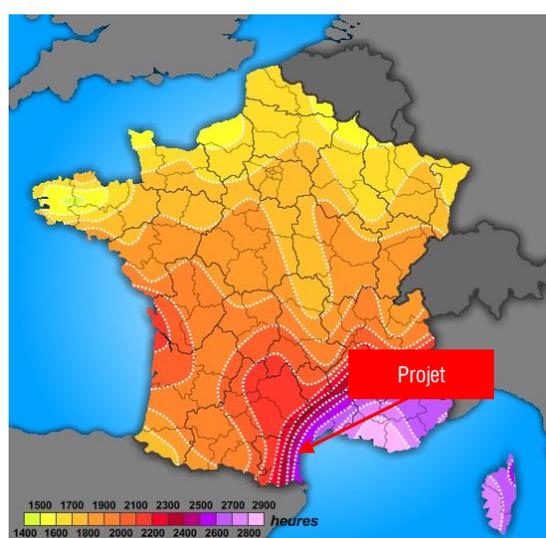
Nom	Bois déchiqueté	Granulés	Distance au site	Mode de livraison
PETROSUD-FORMENTY		X	11 km	Big bag associé à un souffleur
Pro Bois Plaquettes	X		18 km	Non précisé
SARL ALCAL		X	19 km	Livraison big bag 1t
Biomasse Sud Energie	X	X	24 km	Camion souffleur
SAS Bois du canigou		X	43 km	Livraison palette
SARL Girbau	X		42 km	Non précisé
SARL Soulié Jardinerie d'altitude	X	X	102 km	Camion souffleur

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.

4.5 L'énergie solaire

La région Occitanie présente un gisement solaire optimal dont le projet pourra bénéficier tout au long de l'année. Au vu de la taille de la parcelle, on peut supposer que les espaces disponibles pour exploiter la ressource solaire seront nombreux, notamment en toiture.

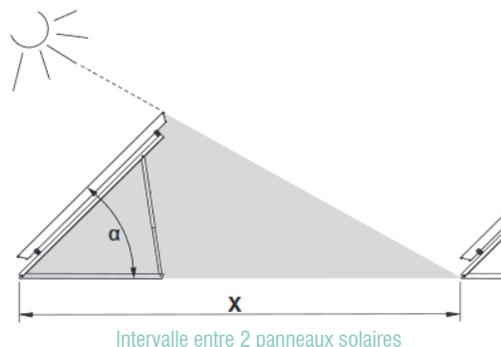


Carte de l'ensoleillement annuel (meteo-express)

Le gisement solaire est évalué en fonction de l'ensoleillement moyen sur le site, il s'élève à environ **1887 kWh/m².an** pour un plan incliné à 30° par rapport à la verticale et orienté plein Sud (0°).

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-Est / Sud-Ouest, l'orientation des panneaux photovoltaïques en toiture ne serait pas optimale (orientation plein Sud) mais néanmoins intéressante : irradiance de **1759 kWh/m².an** soit une diminution d'environ 6.8 % par rapport au cas optimal.

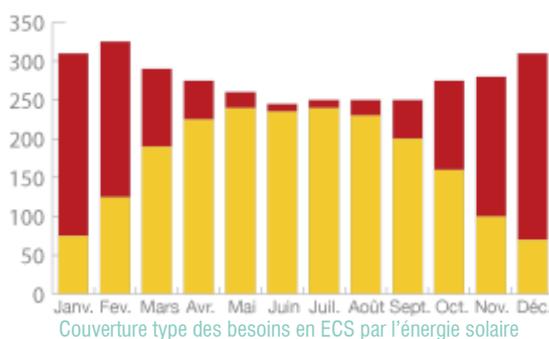
Les panneaux solaires installés sur une surface plane doivent comporter une certaine distance de séparation entre les rangées afin d'éviter le chevauchement des ombres des panneaux sur les autres.



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.

4.5.1 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 une partie des besoins des cantines et blanchisserie.

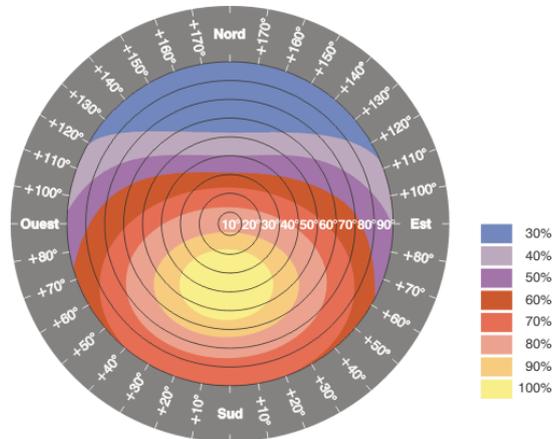


En considérant des panneaux solaires thermiques plans, ayant un rendement de l'ordre de 30 % en moyenne et l'irradiance évaluée de 1 759 kWh/m².an, une **production potentielle de 527 kWh/m².an** est possible. Pour couvrir 50% des besoins ECS des espaces de restaurations et blanchisserie, il faudrait une installation d'environ **176 m²** de panneaux solaires thermiques.

Il peut être intéressant de considérer cette solution au niveau des zones de restauration et blanchisserie 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.

4.5.2 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

En considérant les espaces de bâtiments à usage tertiaire uniquement et en prenant en compte la surface nécessaire à l'installation solaire thermique, une surface de toiture d'environ 2100 m² serait disponible à l'installation de panneaux photovoltaïques.

Le photovoltaïque est un des seuls systèmes EnR à produire de l'électricité qui représente ici une part importante des besoins. 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.

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.

4.5.3 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.

4.6 L'éolien

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

4.6.1 Grand et moyen éolien

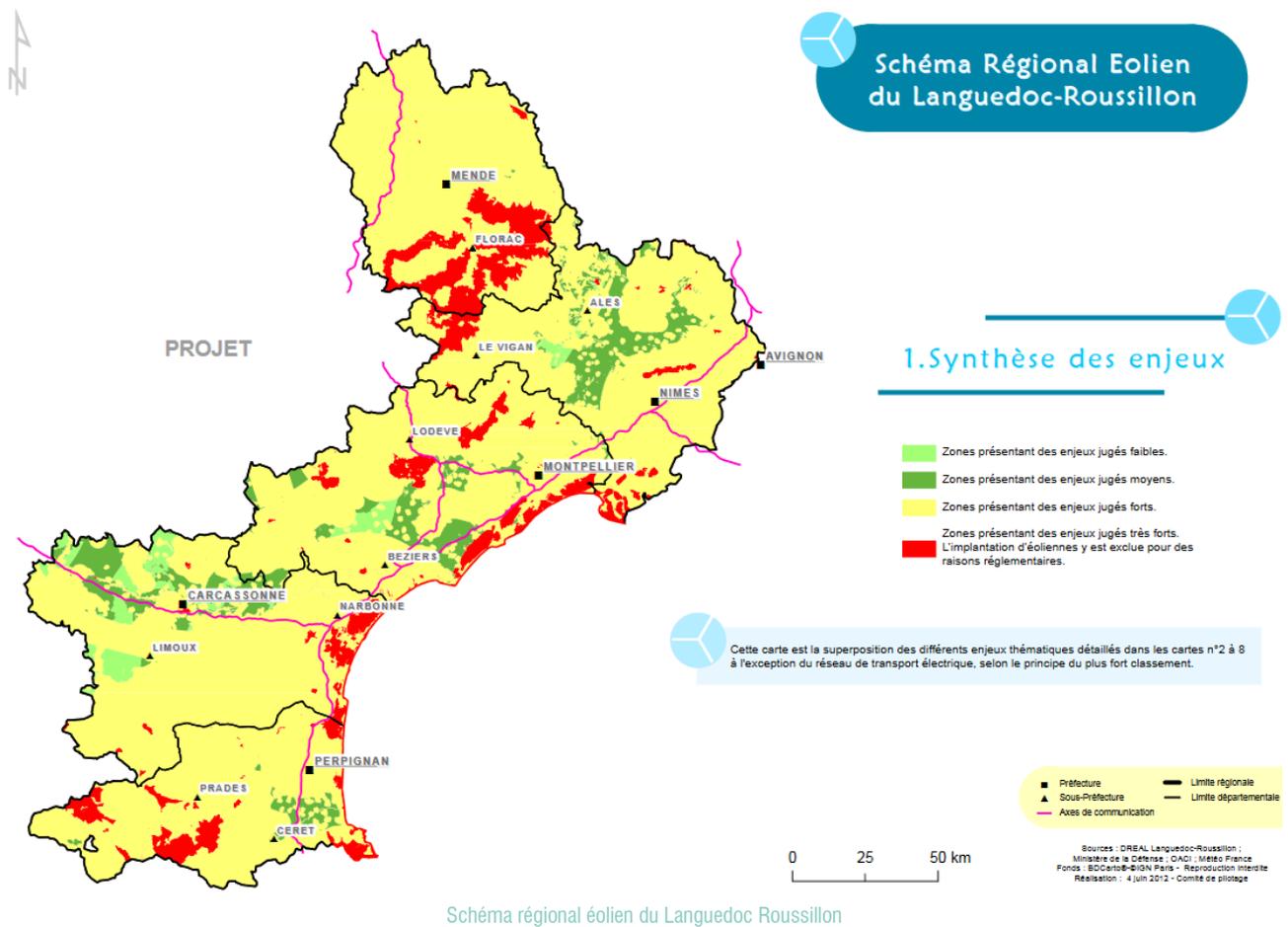


Schéma régional éolien du Languedoc Roussillon

D'après le Schéma Régional Eolien du Languedoc-Roussillon de 2012, la commune de Rivesaltes 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. A noter que le schéma régional éolien a été annulé en 2017.

4.6.2 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.

4.7 Bilans atouts / contraintes

4.7.1 Production d'énergie thermique

Technologie	Faisabilité	Avantages	Inconvénients
Production de chaleur et de froid			
Raccordement réseau de chaleur existant	Non	Mutualisation de la production	Absence de réseau à proximité Faible besoin
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	Potentiel 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 importantes 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
Chaudière numérique	Oui	Réduction des consommations d'ECS	Innovation en complément du système d'approvisionnement principal
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 la blanchisserie et la restauration : 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 Utilisation des toitures : éventuel conflit d'usage

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

4.7.2 Production d'électricité

Technologie	Faisabilité	Avantages	Inconvénients
Production d'électricité			
Solaire photovoltaïque	Oui	Autoconsommation électrique possible	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	Autoconsommation électrique possible Production de chaleur en simultané	Tarif d'achat peu avantageux Investissement onéreux Utilisation des toitures : proscrit sur les bâtiments d'hébergement
Grand et moyen éolien	Non	/	Proscrit par le programme technique
Eoliennes de bâtiment	Non	/	Technologies non pertinentes et proscrites par le programme technique

5 Proposition de scénarios énergétiques à étudier

5.1 Scénarios proposés

Différents scénarios d’approvisionnement en énergies renouvelables sont proposés. Le 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.

5.1.1 Scénario 1 (Base) – Chaudière gaz, solaire thermique et groupes froids

Typologie	Part de la surface totale	Système productif	Alimentation des besoins			
			Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Hébergement pénitentiaire	46.6%	Chaudière gaz	100%	100%		
		Réseau électrique national				100%
Tertiaire	48.7%	Chaudière gaz	100%	99%		
		Groupes froids			100%	
		Solaire thermique		1%*		
		Réseau électrique national				100%
Restauration	4.7%	Chaudière gaz	100%	50%		
		Groupes froids			100%	
		Solaire thermique		50%		
		Réseau électrique national				100%

*Le solaire thermique est pris en compte pour satisfaire les besoins ECS de la blanchisserie, très faibles par rapport à l'ensemble de la typologie Tertiaire.

5.1.2 Scénario 2 – Chaudière biomasse avec appoint gaz, groupes froids

Typologie	Part de la surface totale	Système productif	Alimentation des besoins			
			Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Hébergement pénitentiaire	46.6%	Chaudière bois	80%	80%		
		Appoint gaz	20%	20%		
		Réseau électrique national				100%
Tertiaire	48.7%	Chaudière bois	80%	80%		
		Appoint gaz	20%	20%		
		Groupes froids			100%	
		Réseau électrique national				100%
Restauration	4.7%	Chaudière bois	80%	80%		
		Appoint gaz	20%	20%		
		Groupes froids			100%	
		Réseau électrique national				100%

5.1.3 Scénario 3 – Géothermie sur nappe superficielle avec appoint gaz et groupes froids

Typologie	Part de la surface totale	Système productif	Alimentation des besoins			
			Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Hébergement pénitentiaire	46.6%	Chaudière gaz	100%	100%		
		Réseau électrique national				100%
Tertiaire	48.7%	Géothermie	70%	70%	70%	
		Appoint gaz	30%	30%		
		Groupes froids			30%	
		Réseau électrique national				100%
Restauration	4.7%	Chaudière gaz	100%	100%		
		Groupes froids			100%	
		Réseau électrique national				100%

6 Analyse technico-économique

6.1 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	0.06	4.00%
	Naturel entreprise/professionnel	0.05	4.00%
Bois	Plaquette forestière	0.03	3.00%
	Granulés en vrac	0.05	3.00%

Hypothèses économiques

Ressource	Ratio EP/EF	Emissions de GES (g eCO ₂ /kWh)	%EnR
Electricité chauffage	2.58	210	22.70%
Electricité éclairage - résidentiel		121	
Electricité autre - résidentiel		65	
Electricité autre - tertiaire		66	
Gaz	1	234	0.10%
Bois	1	13	100%

Hypothèses environnementales

6.2 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. Ce coût de l'énergie ne contient ni le coût de l'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. C'est cette VAN, en comparaison au scénario de référence, qui est représentée sous forme de graphique.

6.3 Description des indicateurs environnementaux

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

6.3.1 Energie primaire

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.

6.3.2 Energie finale

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.

6.3.3 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.

6.3.4 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 ».

6.4 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	46.6%	Chaudière gaz	100%	100%		
		Réseau électrique national				100%
Tertiaire	48.7%	Chaudière gaz	100%	99%		
		Groupes froids			100%	
		Solaire thermique		1%*		
		Réseau électrique national				100%
Restauration	4.7%	Chaudière gaz	100%	50%		
		Groupes froids			100%	
		Solaire thermique		50%		
		Réseau électrique national				100%

*Le solaire thermique est pris en compte pour satisfaire les besoins ECS de la blanchisserie, très faibles par rapport à l'ensemble de la typologie Tertiaire.

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 groupes froids.

Une production solaire thermique couvre la moitié des besoins en ECS de la partie « restauration » ainsi qu'une partie des besoins de la blanchisserie (ici considérée comme un espace tertiaire).

L'électricité provient en totalité du réseau électrique national.

6.4.1 Résultats économiques

Bilan économique	Chauffage ECS	Froid	Electricité	Global
Investissement total (€ TTC)	638 665	107 174	0*	745 839
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	95.63	172.04	258.06	189.99
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	2.68	1.82	0*	1.16
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	3.71	3.91	0*	1.72
Efficacité financière	Chauffage ECS	Froid	Electricité	Global
Temps de retour (années)	-	-	-	-
Coût moyen de l'énergie (€ TTC/MWh)	130	291	258	213

Bilan économique scénario de base

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

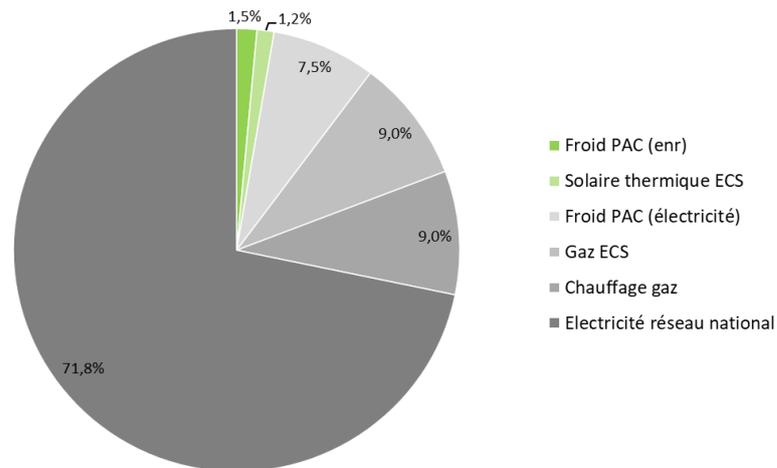
6.4.2 Résultats environnementaux

Bilan environnemental	Chauffage ECS	Froid	Electricité	Global
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	1 090	472	4 488	6 049
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	1 145	183	1 739	3 067
Part d'EnR sur le bilan global	1.2%	1.5%	0.0%	2.7%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	263.31	12.06	154.72	430.09

Bilan environnemental scénario de base

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

Contribution à la couverture des besoins - EnR et énergies fossiles



Scénario base – Contribution des systèmes au taux EnR

6.4.3 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 groupes froids pour la production de froid. La mise en place seule de ces systèmes ne permet cependant pas d'atteindre le taux de couverture EnR programme fixé à 10% des consommations d'énergie.

Une installation solaire thermique telle que définie précédemment nécessiterait une surface de toiture d'environ 180 m² (à priori compatible avec surface toiture restauration) pour un investissement total de 176 k€.

Afin d'atteindre le seuil de 10% de couverture EnR, la mise en place de panneaux photovoltaïques couvrant environ 9% des besoins électriques du site serait nécessaire. En considérant des modules photovoltaïques standards d'une (puissance crête de 300 Wc orientés plein Sud et inclinés à 30° par rapport à l'horizontale) une installation de 265 kWc soit 884 panneaux permettrait de couvrir les besoins. La surface d'un module étant d'environ 1.7m² et en considérant une marge de 30% prenant en compte l'espacement nécessaire entre chaque module, une surface de 1950 m² de toiture suffirait à accueillir l'installation photovoltaïque. L'investissement nécessaire serait de 477 k€ pour un temps de retour sur investissement de 13 ans.

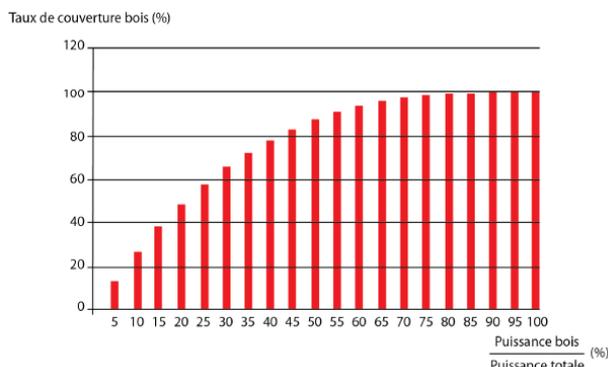
Aucun investissement n'est pris en compte pour la partie électricité car celle-ci est acheminée par le réseau électrique national et identique entre tous les scénarios. Cependant, le coût de l'énergie est soumis à une variation forte au cours des années, pour atteindre un coût moyen de l'électricité de 258 €/MWh sur 30 ans.

Consommation EP (Mwhep/an)	Investissement (€ TTC)	Entretien et maintenance (€ TTC/MWh)	Emissions de GES (teqCO2/an)	Part EnR
6 049	745 839	2.88	430.09	2.7%

Synthèse scénario base

6.5 Scénario 2 – Chaudière biomasse appoint gaz et groupes froids

Ce scénario plus ambitieux consiste à réaliser la production de chaleur par la ressource bois via une chaufferie biomasse, associée à un appoint gaz. Les groupes froids 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 50% 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 tertiaire et restauration sont assurés par des groupes froids identiques au scénario de base et les besoins d'électricité sont de nouveau assurés par le réseau électrique national.

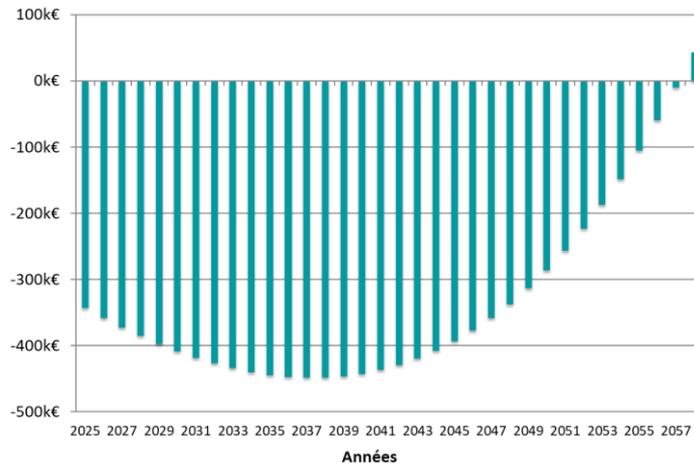
Typologie	Part de la surface totale	Système productif	Alimentation des besoins			
			Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Hébergement pénitentiaire	46.6%	Chaudière bois	80%	80%		
		Appoint gaz	20%	20%		
		Réseau électrique national				100%
Tertiaire	48.7%	Chaudière bois	80%	80%		
		Appoint gaz	20%	20%		
		Groupes froids			100%	
		Réseau électrique national				100%
Restauration	4.7%	Chaudière bois	80%	80%		
		Appoint gaz	20%	20%		
		Groupes froids			100%	
		Réseau électrique national				100%

Tableau récapitulatif scénario 2

6.5.1 Résultats économiques

Bilan économique	Chauffage	Froid	Electricité	Global
	ECS			
Investissement total (€ TTC)	965 920	107 174	0*	1 073 094
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	33.05	172.04	258.06	166.59
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	7.05	1.82	0*	2.79
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	4.02	3.91	0*	4.00
Efficacité financière	Chauffage	Froid	Electricité	Global
	ECS			
Temps de retour (années)	> 30	-	-	> 30
Coût moyen de l'énergie (€ TTC/MWh)	106	291	258	203.98

Bilan économique scénario numéro 2 – chaleur et froid



VAN scénario numéro 2 – chaleur et froid

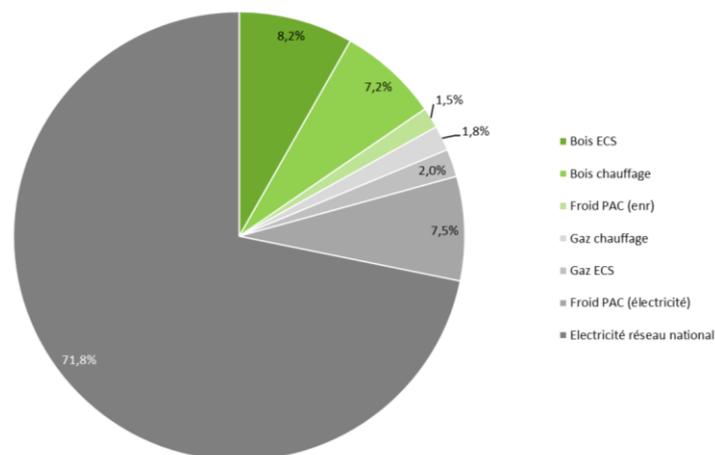
6.5.2 Résultats environnementaux

Bilan environnemental	Chauffage ECS	Froid	Electricité	Global
Consommation d'énergie primaire (MWh _{ep} /an)	1 298	472	4 488	6 258
Consommation d'énergie finale (MWh _{ef} /an)	1 298	183	1 739	3 220
Part d'EnR sur le bilan global	15.4%	1.5%	0%	16.9%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	68.78	12.06	154.72	235.56

Bilan environnemental scénario numéro 2 – chaleur et froid

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

Contribution à la couverture des besoins - EnR et énergies fossiles



6.5.3 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. La solution de production de froid n'est pas modifiée par rapport au scénario de base. Cette solution ne présente pas de temps de retour inférieur à 30 ans, bien qu'elle soit plus vertueuse au point de vue environnemental que la solution de base : la contribution à la couverture des besoins est bien supérieure à celle du scénario de base avec un taux de 16,9%.

Consommation EP (Mwhep/an)	Investissement (€ TTC)	Entretien et maintenance (€ TTC/MWh)	Emissions de GES (teqCO2/an)	Part EnR
6 258	1 073 094	6.79	235.56	16.9%

Synthèse scénario biomasse

6.6 Scénario 3 – Géothermie sur nappe superficielle avec appoint gaz

Ce scénario a recours à une PAC géothermique sur nappe superficielle pour les besoins en chaud, ECS et froid des espaces tertiaires. L'hypothèse est faite d'une couverture à 70% des besoins de chaleur et de froid par la PAC géothermique. Le reste est assuré par un appoint gaz et des groupes froids.

Les besoins de chaud et ECS pour les espaces hébergement pénitentiaire et restauration sont assurés par des chaudières gaz à condensation.

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	46.6%	Chaudière gaz	100%	100%		
		Réseau électrique national				100%
Tertiaire	48.7%	Géothermie	70%	70%	70%	
		Appoint gaz	30%	30%		
		Groupes froids			30%	
		Réseau électrique national				100%
Restauration	4.7%	Chaudière gaz	100%	100%		
		Groupes froids			100%	
		Réseau électrique national				100%

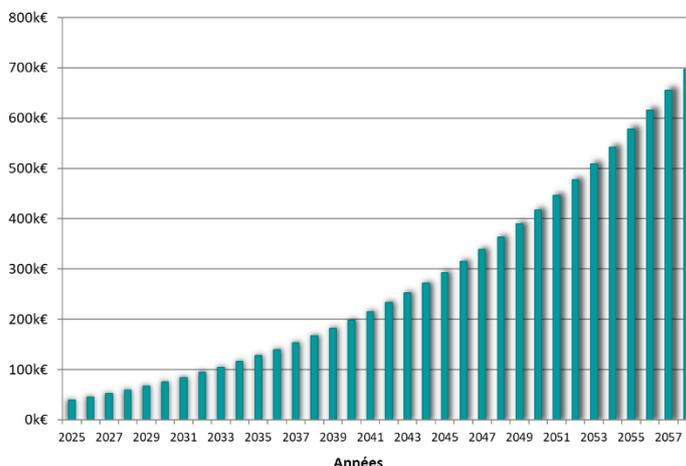
Tableau récapitulatif scénario 3

6.6.1 Résultats économiques

Bilan économique	Chauffage ECS	Froid	Electricité	Global
Investissement total (€ TTC)	458 465	208 753	0*	667 218
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	72.44	51.89	258.06	68.62
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	1.78	1.91	0*	1.80
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	4.38	8.19	0*	5.08
Efficacité financière	Chauffage ECS	Froid	Electricité	Global
Temps de retour (années)	0	16	0	0
Coût moyen de l'énergie (€ TTC/MWh)	138	389	258	224

*Les coûts associés sont directement intégrés dans le coût de l'énergie moyen

Bilan économique scénario 3 – Chaleur et froid



VAN Scénario 3 – Chaleur et froid

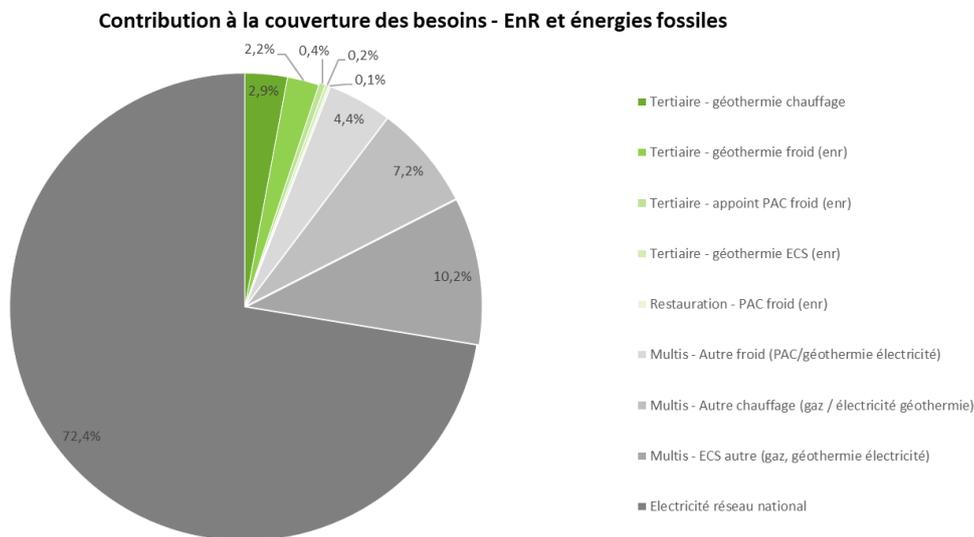
L'investissement étant pour partie mutualisé entre la production de froid et de chaud, celui-ci a été pondéré en fonction de l'utilisation pour les besoins de froid ou de chaud : le fonctionnement de la PAC géothermique est réversible et permet de satisfaire la production de chaud et de froid. Cette 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.

6.6.2 Résultats environnementaux

Bilan environnemental	Chauffage ECS	Froid	Electricité	Global
Consommation d'énergie primaire (MWh/an)	1 030	321	4 488	5 839
Consommation d'énergie finale (MWh/an)	1 098	102	1 739	2 939
Part d'EnR sur le bilan global	3.1%	2.6%	0%	5.7%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	234.26	6.93	154.72	395.91

Bilan environnemental scénario numéro 3 – chaleur et froid

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



Contribution des systèmes au taux de couverture EnR

6.6.3 Conclusion scénario

Malgré la nécessité de réaliser un forage, l'investissement pour cette solution s'avère moins important que celui de la solution de base, d'une part en raison de la faible profondeur de forage et d'autre part par la mutualisation entre production de chaleur et froid de la PAC géothermique. De plus, si les coûts d'entretien et de maintenance sont plus élevés que la solution de base, le coût moyen de l'énergie est lui bien plus faible et permet de pérenniser les économies à long terme.

Le bilan environnemental est également plus intéressant (taux EnR 5.7%) que celui de la solution de base mais ne permet pas de respecter le seuil de taux de couverture EnR du programme fixé à 10%. En revanche, la solution géothermique n'est prise en compte que pour les espaces associés Tertiaire (afin de rester sous le seuil de géothermie de minime importance) ; les espaces Restauration et Hébergement pénitentiaire sont alimentés par groupes froids et chaudière gaz condensation. Ainsi le bilan environnemental reste moins bon que pour le scénario n°2.

Consommation EP (Mwhep/an)	Investissement (€ TTC)	Entretien et maintenance (€ TTC/MWh)	Emissions de GES (teqCO2/an)	Part EnR
5 839	667 218	6.89	395.91	5.7%

Synthèse scénario géothermie

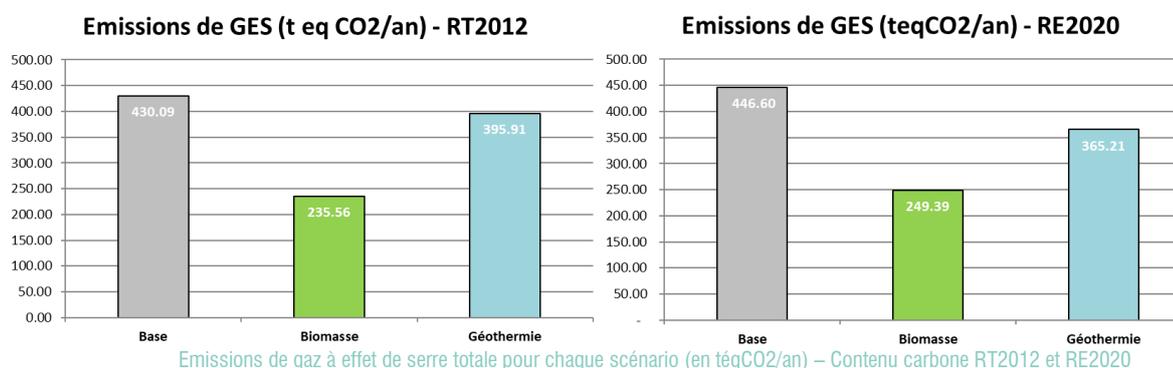
7 Synthèse

7.1 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 de 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.

7.1.1 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 trois scénarios ayant recours aux mêmes solutions pour l'énergie électrique, la différence se fait uniquement sur la production de chaud et de froid.

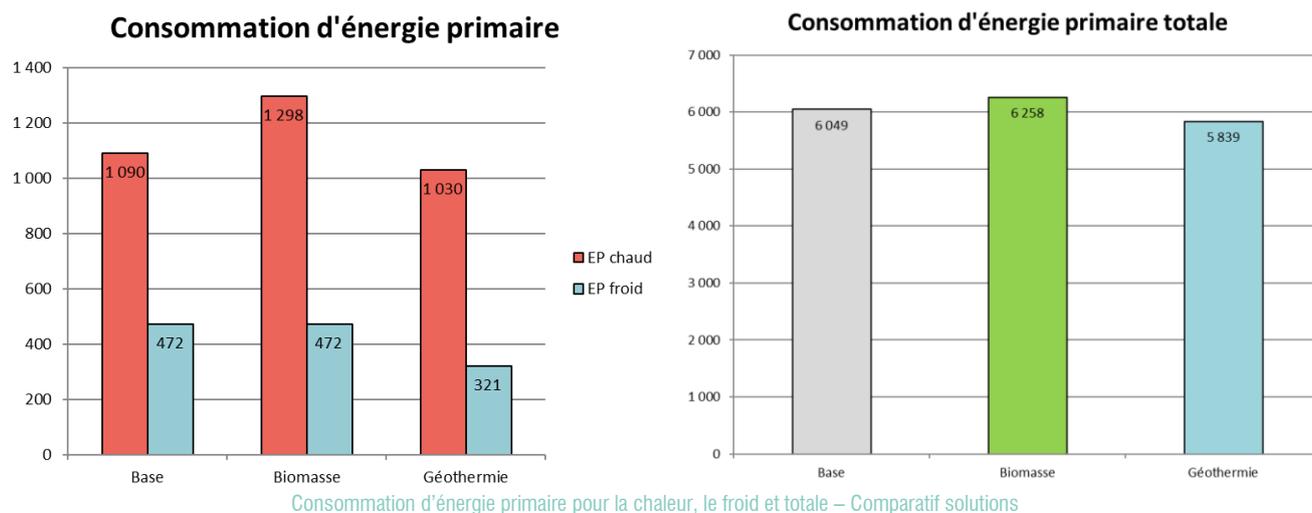
Le scénario de base a en majorité recours au gaz pour la production de chaleur (chauffage et ECS) et à l'électricité pour la production de froid. Le scénario n°2 se différencie par l'utilisation de chaudière biomasse avec appoint gaz pour la production de chaleur. Enfin, le scénario n°3 utilise la géothermie 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 par gaz est moins importante.

Il faut également noter que le ratio d'émission carbone lié à l'électricité pour la production de chauffage est amené à évoluer avec la mise en place de la RE 2020. Ce ratio va passer de 210 gCO₂/kWh (actuellement pris en compte dans l'expérimentation E+C-) à 79 gCO₂/kWh. Cette différence est liée à un changement de la méthode de calcul, l'ancienne méthode conduisait à surévaluer le contenu carbone de l'électricité et ne permettait pas bien de prendre en compte l'évolution du parc électrique français. La nouvelle méthode est plus juste et permet un calcul plus précis du contenu carbone.

Le bilan carbone associé à l'utilisation de PAC est ainsi grandement réduit avec cette nouvelle méthode de calcul. Le scénario géothermie ayant plus recours à l'énergie électrique pour la production de chaleur sera donc plus vertueux avec l'application de cette nouvelle méthode de calcul.

A contrario, le contenu carbone du gaz ainsi que du bois sont revus à la hausse expliquant ainsi l'évolution des émissions de GES associée à chacun de ces scénarios.

7.1.2 Consommation d'énergie primaire

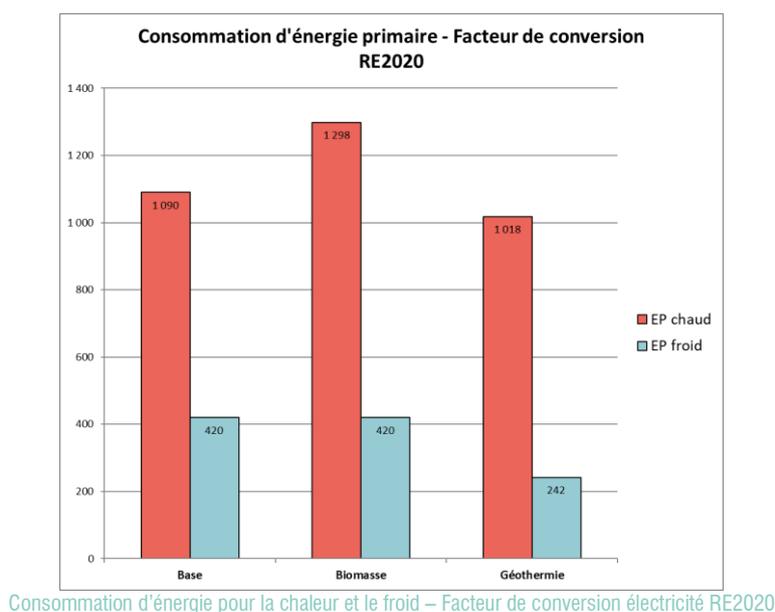


Le scénario de base présente un ratio de consommation des ressources lié à la production de froid identique au scénario biomasse. Le COP de la PAC géothermie est plus élevé que celui des scénarios base et biomasse expliquant la consommation d'énergie plus faible.

La solution biomasse présente un ratio de consommation d'énergie primaire légèrement supérieur à la solution de base notamment du fait du rendement plus faible des chaudières biomasse (90%) par rapport aux chaudières gaz à condensation (105%). Ainsi pour produire la même quantité d'énergie finale, la solution biomasse nécessite plus d'énergie primaire.

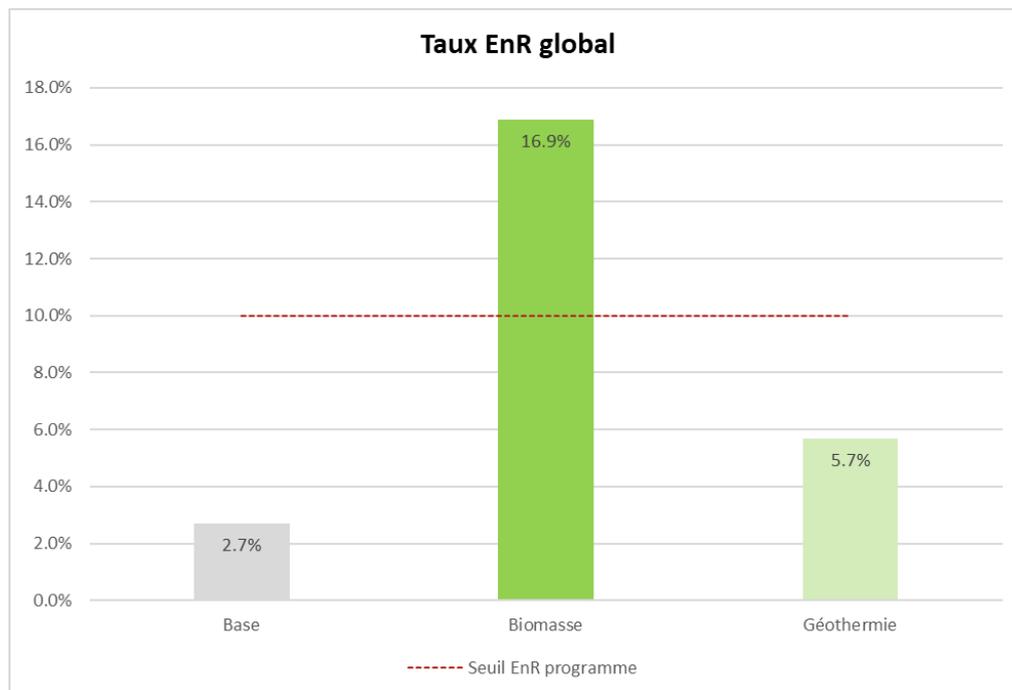
Enfin, le scénario géothermie associant PAC géothermique et chaudière gaz consomme légèrement moins d'énergie primaire que le scénario de base : bien que le facteur de conversion EP/EF pour l'énergie électrique soit élevé, cet effet est compensé par le bon rendement de la géothermie limitant les besoins en énergie électrique.

Le ratio de conversion d'énergie primaire en énergie de l'électricité est aujourd'hui de 2,58. Cette valeur sera diminuée à 2,30 avec la RE 2020, les résultats de consommation des ressources pour cette énergie seront ainsi réduits : l'énergie primaire utilisée pour fournir la même quantité d'énergie finale qu'auparavant s'en trouvera d'autant diminuée et les scénarios utilisant l'énergie électrique que sont les scénarios base et géothermie seront plus intéressants de ce point de vue.



7.1.3 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 de la restauration et de la blanchisserie. Les PAC pour la production de froid ont également une part EnR. Ces systèmes ne permettent pas d'atteindre le seuil fixé au programme et des solutions complémentaires sont nécessaires (panneaux photovoltaïques pour les espaces tertiaires...). A titre informatif, pour atteindre un taux de couverture EnR de 10%, l'installation de panneaux solaires couvrant environ 7% des besoins en électricité du site serait suffisante.

Le scénario biomasse présente le meilleur taux EnR avec plus de 16% notamment dû à l'utilisation de bois énergie comme source principale de production de chaleur. Malgré l'utilisation d'une énergie complètement renouvelable pour le chauffage (hors appoint gaz), ce taux reste très faible du fait de la part très importante que représente les postes ventilation et éclairage (d'autant plus au regard du facteur de conversion en énergie primaire pour l'électricité).

Le scénario géothermie, moins vertueux que le précédent, ne permet pas de respecter le seuil du programme (notamment car la puissance a été limitée pour rester en géothermie de minime importance). L'utilisation de géothermie comme source principale de chaleur et de froid pour les espaces tertiaires améliore cependant sensiblement le taux EnR du projet par rapport au scénario base.

7.2 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 30 ans	Coût de l'énergie froid moyen (€ TTC/MWh) sur 30 ans	Coût de l'électricité moyen (€ TTC/MWh) sur 30 ans	Temps de retour sur Investissement en comparaison au Scénario de référence
Scénario de base	Chaudière gaz	462 665				
	Groupes froids	107 174	130	291	258	-
	Solaire thermique	176 000				
Scénario biomasse	Chaufferie biomasse + appoint gaz	965 920	106	291	258	> 30 ans
	Groupes froids	107 174				
Scénario géothermie	Chaudière gaz hébergement et restauration	221 110				
	Groupes froids restauration	14 389	138	389	258	Immédiat
	PAC Géothermique tertiaire	249 700				
	Appoint gaz tertiaire	99 245				
	Appoint groupes froids tertiaire	82 774				

3

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.
- 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 ne présente pas de rentabilité sur la période considérée de 30 ans.
- Le scénario 3 géothermie est immédiatement rentabilisé, la PAC géothermique est réversible donc limite la multiplication des systèmes de production de chaleur et de froid et l'investissement nécessaire.

³ Pour chaque scénario, l'investissement comprend les installations ainsi que les éléments complémentaires (ex : PAC géothermique + doublet géothermique compris dans l'investissement)

7.3 Conclusion

La solution biomasse est la plus vertueuse des solutions étudiées, mais dont le temps de retour sur investissement est légèrement supérieur à 30 ans. 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.

La solution géothermique est également très intéressante sur le plan économique, et permet de réduire la consommation de ressources et les émissions de gaz à effet de serre.

Le recours à ce scénario géothermique reste toutefois à confirmer, le site s'inscrivant dans une zone à fortes contraintes pour l'utilisation de la nappe d'eau superficielle :

- L'installation géothermique est soumise à autorisation car le site prend place dans une Zone de Répartition des Eaux. Un dossier d'autorisation comprenant une étude d'impact, un document de sécurité et santé, les conditions d'arrêt des travaux et l'évaluation des impacts sur la ressource en eau sera à réaliser.
- La parcelle est située dans le périmètre de protection éloigné de la zone du captage d'alimentation en eau potable de la commune de Salses-le-Château soumettant à autorisation préfectorale toute activité susceptible de modifier le régime ou la qualité des eaux souterraines ou superficielles.
- Une pré-étude de sol devra être réalisée afin de confirmer le potentiel d'exploitation de la nappe sous-terrainne pour les besoins du projet.

Tableaux de synthèse des scénarios

Scénario	Technique	Economique	Environnemental
Scénario base	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
Scénario 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	Rentabilité économique difficilement atteinte (plus de 30 ans) sur la production de chaleur et de froid	Solution très vertueuse pour la partie chauffage et ECS
Scénario géothermie	Contraintes réglementaires à respecter liées à la ZRE et la zone de captage (dossier d'autorisation), et contraintes supplémentaires si puissance géothermique > 500 kW	Rentabilité immédiate par rapport à la solution de base, réduction de la consommation de ressources et réduction des charges	Gain par rapport au scénario de base mais émissions de GES élevées du fait du recours aux chaudières pour une grosse parties des besoins de chaud.

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)
Scénario base	6 049	745 839	17 421	1 143 200	430.09	2.7%	Référence
Scénario biomasse	6 258	1 073 094	42 492	1 042 520	235.56	16.9%	environ 30
Scénario géothermie	6 839	667 218	42 752	418 925	395.91	5.7%	immédiat

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.

8 Glossaire

COP	Coefficient de performance
ECS	Eau Chaude Sanitaire
EF	Energie Finale
ENR	Energie Renouvelable
EP	Energie Primaire
GES	Gaz à Effet de Serre
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattheure
MO	Maîtrise d'Ouvrage
MW	Mégawatt
MWh	Mégawattheure
PAC	Pompe à chaleur
PV	Photovoltaïque
RDC	Réseau de Chaleur
RT	Réglementation Thermique
SA	Surface d'Activité
SH	Solaire Hybride
ST	Solaire Thermique
TTC	Toutes Taxes Comprises
VAN	Valeur Actuelle Nette

