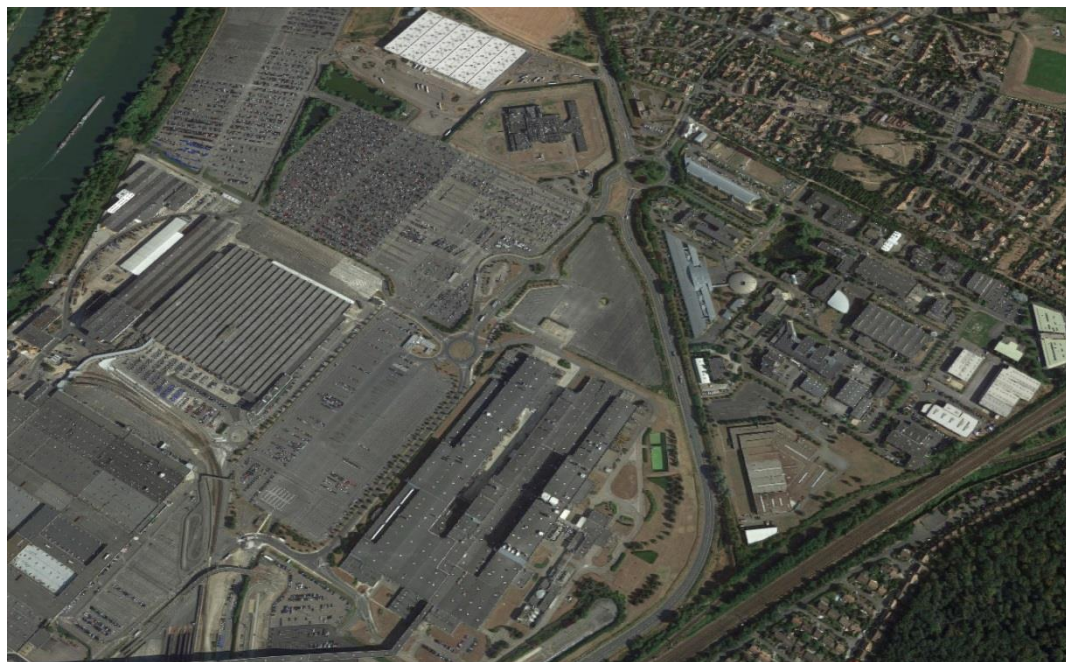


ETUDE DU POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES

REALISATION D'UN LOTISSEMENT DESTINE A ACCUEILLIR UN PARC D'ACTIVITES A VOCATION ECONOMIQUE, DIT « TECHNOPARC 2 »



Réf : 2017.515-E03 C

11/06/2018

Rédigé par : Perrine RIVOAL

Vérifié par : Thibaut LE SCELLER

SOMMAIRE

1. CONTEXTE.....	3	4. ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE	26
1.1. Le contexte territorial du site.....	3	4.1. Scénarios étudiés	26
1.2. La transition énergétique à différentes échelles.....	4	4.2. Hypothèses.....	27
1.3. Le contexte réglementaire	5	4.3. Description des indicateurs environnementaux.....	27
2. ANALYSE DES BESOINS ENERGETIQUES	6	4.4. Analyse et comparaison des scénarios	29
2.1. Description des besoins estimés	6	5. EXTRACTION DE L'ENSEMBLE DES RESULTATS	38
2.2. Programmation.....	6	5.1. Scénario de référence.....	38
2.3. Besoins énergétique.....	7	5.2. Scénario 1 : Solaire photovoltaïque	41
2.4. Synthèse des besoins selon les ambitions visées	8	5.3. Scénario 2 : Géothermie sur nappe.....	45
3. RESSOURCES ENERGETIQUES	9	5.4. Scénario 3 : Solaire photovoltaïque et sobriété	49
3.1. Le contexte climatique	9	6. ANNEXES	53
3.2. Réseaux de chaleur	10	6.1. Table des figures	53
3.3. La géothermie	11		
3.4. Les énergies de récupération	16		
3.5. La biomasse	19		
3.6. L'énergie solaire.....	21		
3.7. L'éolien.....	24		
3.8. Bilan des atouts et contraintes	25		

1. CONTEXTE

1.1. Le contexte territorial du site

Le projet relève du réaménagement d'une partie du site Peugeot PSA situé à Poissy.

La ville de Poissy se situe à l'Ouest de Paris, en région Ile-de-France, dans le département des Yvelines. Elle est délimitée, à l'Est, par la Forêt Domaniale de Saint-Germain-en-Laye, tandis que la Seine constitue une limite naturelle de la commune à l'Ouest.

La ville appartient à la Communauté Urbaine Grand Paris Seine & Oise, qui regroupe 73 communes accueillant 405 049 habitants, sur une superficie totale de 500 km². La ville de Poissy, compte 37 4102 habitants et est la sixième ville la plus peuplée du département des Yvelines.

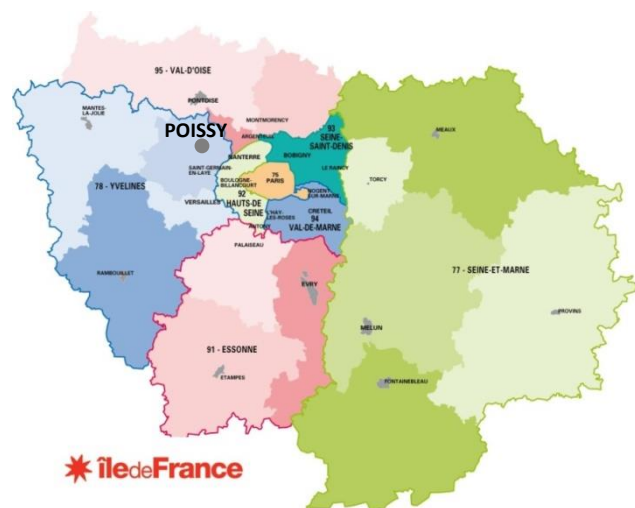


FIGURE 1 LOCALISATION DU PROJET - IDF



FIGURE 2 LOCALISATION DU PROJET - GOOGLEMAP

Le site de l'usine PSA de Poissy est implanté dans la zone d'activité entre la voie ferrée et la Seine, au Nord du territoire communal. Le projet constitue en l'aménagement d'un ancien parking exploité par PSA sur une emprise totale d'environ 4 ha.

Ce projet s'inscrit dans le développement du Technoparc, situé de l'autre côté de l'Avenue de Pontoise (RD30). Il consiste en la création d'un maximum de plusieurs lots d'activité et d'une voie d'accès.

1.2. La transition énergétique à différentes échelles

Les ambitions européennes : les trois 20 pour 2020

Des ambitions portées par le Plan Climat de l'Union européenne 2009:

- Améliorer de 20 % l'efficacité énergétique d'ici 2020.
- Réduire les émissions de CO₂ des pays de l'Union de 20 % d'ici 2020.
- Faire passer la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique européen à 20 % d'ici 2020.

La France s'est engagée à satisfaire, à l'horizon 2020, 23 % de part d'énergie produite par des sources renouvelables dans la consommation d'énergie finale.

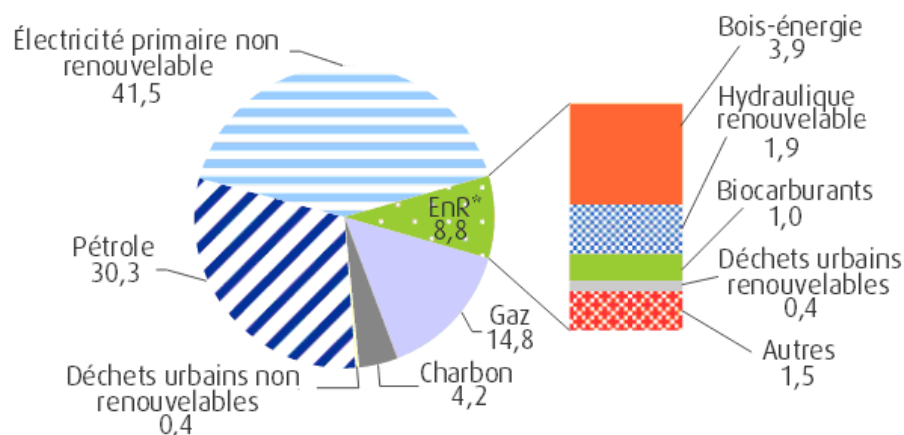


FIGURE 3 REPARTITION DU MIX ENERGETIQUE FRANÇAIS EN 2012

Les ambitions nationales : la LTECV

Les ambitions portées par la loi relative à la **transition énergétique pour la croissance verte** :

Energie et GES

- **Réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 %** entre 1990 et 2030 et les diviser par quatre entre 1990 et 2050. (« Facteur 4 »),
- **Réduire la consommation énergétique finale de 50 %** en 2050 par rapport à la référence 2012, en visant un objectif intermédiaire de 20% en 2030.
- Porter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % de cette consommation en 2030 ; à cette date. Pour parvenir à cet objectif, les énergies renouvelables doivent représenter 40 % de la production d'électricité, 38 % de la consommation finale de chaleur, 15 % de la consommation finale de carburant et 10 % de la consommation de gaz.
- **Multiplier par 5 la quantité de chaleur et de froid renouvelables** et de récupération livrée par les réseaux de chaleur et de froid à l'horizon 2030.

Bâtiment

- Rénover énergétiquement 500 000 logements par an à compter de 2017, dont au moins la moitié est occupée par des ménages aux revenus modestes, visant ainsi une baisse de 15 % de la précarité énergétique d'ici 2020.
- **Avant 2025, tous les bâtiments privés résidentiels dont la consommation en énergie primaire est supérieure à 330 KWh (étiquette F) d'énergie primaire par mètre carré et par an doivent avoir fait l'objet d'une rénovation énergétique.**

1.3. Le contexte réglementaire

Cette étude de potentiel de développement d'énergie renouvelable accompagne la réalisation de l'étude d'impact du projet de réaménagement du parking PSA, conformément à l'article L128-4 du code de l'urbanisme :

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

Le premier objectif d'une telle étude est d'éliminer le risque de projets d'aménagement conséquent menés avec une solution exclusive prédéfinie en matière d'approvisionnement énergétique sans que cette solution n'ait fait l'objet d'une réelle analyse.

Le second objectif est lié à l'échelle du projet. La mise en place d'actions de mutualisation de l'approvisionnement énergétique (tel qu'un réseau de chaleur) doit être définie en amont du projet.

2. ANALYSE DES BESOINS ENERGETIQUES

2.1. Description des besoins estimés

Les besoins qui sont estimés dans la présente étude sont séparés en 4 catégories :



Besoins de chauffage

Chauffage des bâtiments. Il ne s'agit pas d'un calcul réglementaire. L'objectif est ici d'être le plus proche de la réalité possible. La température de consigne utilisée ici n'est donc pas celle de la RT 2012 qui est de 19 °C, mais elle est prise à 21,5 °C, ce qui correspond aux températures de consigne observées.



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

Rafraîchissement des bâtiments. Tout comme pour le chauffage, il ne s'agit pas d'un calcul réglementaire mais d'une approche empirique pour estimer au mieux les besoins de froid des bâtiments. Cependant, il nous semble important de questionner la nécessité de produire du froid sur cette opération.



Besoins d'électricité

Ensemble des postes consommant de l'électricité. L'estimation de ce besoin ne se limite pas aux postes compris dans la RT (éclairage, ventilation et auxiliaires), mais inclut également les consommations d'électricité dites spécifiques, qui comprennent les besoins électriques des appareils électroménagers, des équipements multimédia...

2.2. Programmation

La programmation retenue pour la suite de l'étude figure dans le tableau ci-dessous. Celle-ci correspond aux surfaces estimées du projet en date du 13/04/18. Celle-ci est susceptible d'évoluer à la marge, sans pour autant remettre en cause de manière significative les conclusions de l'étude.

Parcelle	Typologie	SDP (m²)
Parcelle P1	Activité	1 700 m²
Parcelle P2	Activité	15 600 m²
	Bureau	2 400 m²
TOTAL		19 700 m²

- **Phasage**, l'ensemble serait commercialisé en une seule phase

Trois ambitions de performance ont été étudiées :



Ambition exemplaire
Passif



Ambition volontariste
RT2012-20% (Niveau Effinergie +)



Ambition de base
RT2012

2.3. Besoins énergétique

Les besoins d'énergie sont estimés selon l'hypothèse de performance conforme à la réglementation thermique RT2012.

Ambition de base : les besoins énergétiques estimés sont les suivants :

Parcelle	Programme	Performance	Surface (m²)	Besoin de chauffage (kWh/an)	Besoin d'ECS (kWh/an)	Puissance de chaleur (kW)	Besoin de froid (kWh/an)	Puissance de froid (kW)	Besoin d'électricité (kWh/an)
1	Activité	RT2012	1 700	26 180,00	1 870,00	15,90	12 466,67	24,93	78 540,00
2	Activité	RT2012	15 600	240 240,00	17 160,00	145,89	114 400,00	228,80	720 720,00
	Bureau / tertiaire	RT2012	2 400	92 400,00	5 280,00	55,37	52 800,00	105,60	158 189,00
TOTAL			19 700	358 820	24 310	217	179 667	359	957 449

FIGURE 4 ESTIMATIONS DES BESOINS D'ÉNERGIE SCENARIO DE BASE - VIZEA

Ambition volontariste : les besoins énergétiques estimés sont les suivants :

Parcelle	Programme	Performance	Surface (m²)	Besoin de chauffage (kWh/an)	Besoin d'ECS (kWh/an)	Puissance de chaleur (kW)	Besoin de froid (kWh/an)	Puissance de froid (kW)	Besoin d'électricité (kWh/an)
1	Activité	Effinergie +	1 700	15 708,00	1 870,00	9,54	7 480,00	14,96	78 540,00
2	Activité	Effinergie +	15 600	144 144,00	17 160,00	87,54	68 639,99	137,28	720 720,00
	Bureau / tertiaire	Effinergie +	2 400	92 400,00	5 280,00	55,37	52 800,00	105,60	158 189,00
TOTAL			19 700	252 252	24 310	152	128 920	258	957 449

FIGURE 6 ESTIMATIONS DES BESOINS D'ÉNERGIE SCENARIO VOLONTARISTE - VIZEA

Ambition exemplaire : les besoins énergétiques estimés sont les suivants

Parcelle	Programme	Performance	Surface (m²)	Besoin de chauffage (kWh/an)	Besoin d'ECS (kWh/an)	Puissance de chaleur (kW)	Besoin de froid (kWh/an)	Puissance de froid (kW)	Besoin d'électricité (kWh/an)
1	Activité	Passif	1 700	8 727,00	1 870,00	6,01	7 791,67	15,58	56 100,00
2	Activité	Passif	15 600	80 080,00	17 160,00	55,12	71 500,00	143,00	514 800,00
	Bureau / tertiaire	Passif	2 400	36 960,00	5 280,00	23,94	33 000,00	66,00	112 992,00
TOTAL			19 700	125 767	24 310	85	112 292	225	683 892

FIGURE 7 ESTIMATIONS DES BESOINS D'ÉNERGIE SCENARIO EXEMPLAIRE - VIZEA

Les besoins énergétiques correspondant à un niveau **Effinergie +** (ou niveau E3 du label E+ C-) et à un niveau **Passif** sont également présentés. Ces deux scénarios de besoins sont compatibles avec une démarche **BEPOS** (ou BEPOS+) en cas de production d'énergie renouvelable).

Une performance thermique niveau Passif peut permettre de réduire les besoins énergétiques de 35 % par rapport au niveau RT 2012, notamment en réduisant les **besoins de chauffage**.

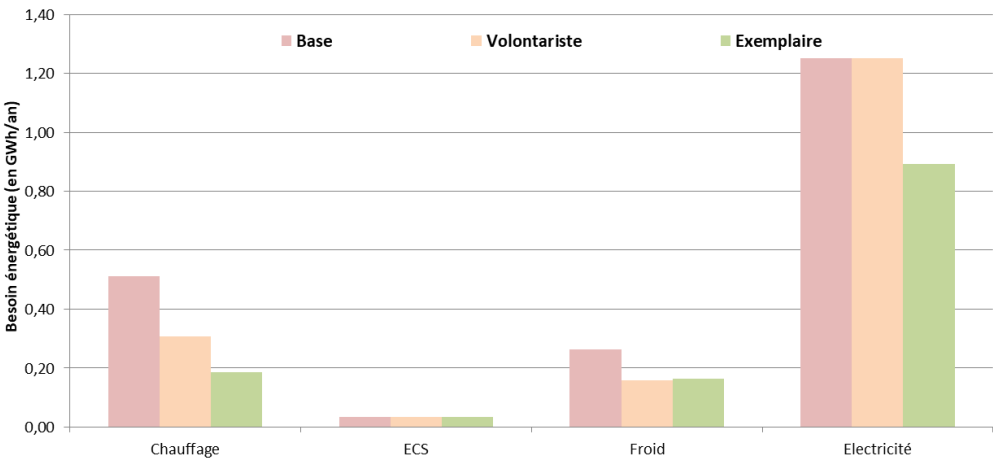
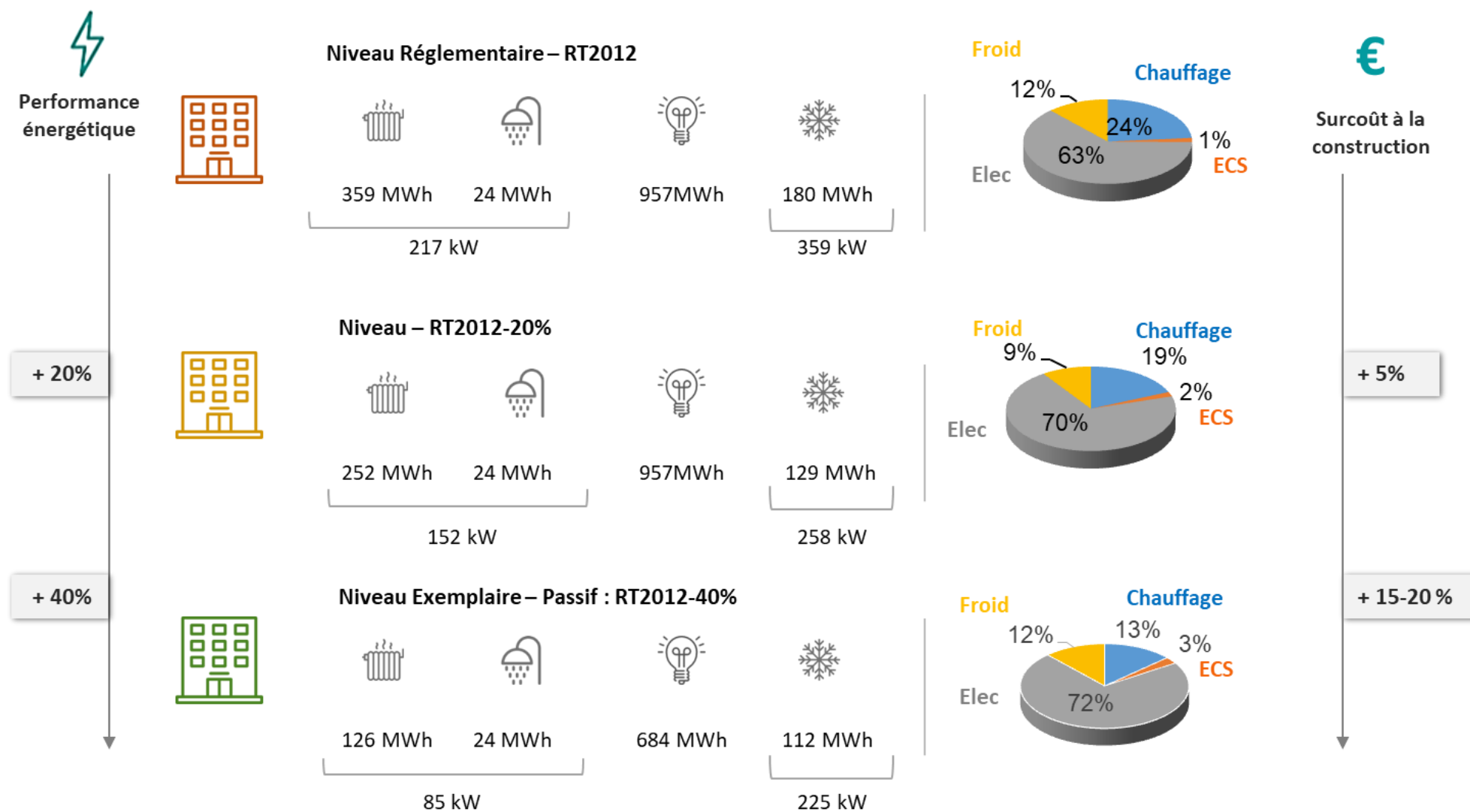


FIGURE 5 COMPARAISON DES BESOINS ENERGETIQUES SELON LA PERFORMANCE ET LES AMBITIONS DES SCENARI - VIZEA

2.4. Synthèse des besoins selon les ambitions visées



3. RESSOURCES ENERGETIQUES

3.1. Le contexte climatique

Poissy se trouve à l'ouest de la région Île-de-France, où le climat de type océanique se caractérise par une répartition régulière des précipitations au cours de l'année et un faible écart entre les températures moyennes hivernales. Le climat sur le site est conforme à celui de la commune et en présente pas de caractéristiques particulières.

La station météorologique Météo France de référence pour la ville de Poissy relève de la station de Trappes.

Températures

Les mois les plus froids sont décembre, janvier et février, avec une température minimale moyenne comprise entre 2 et 1,3°C.

Les températures les plus chaudes concernent les mois de juillet et août, avec environ 24°C recensés en moyenne.

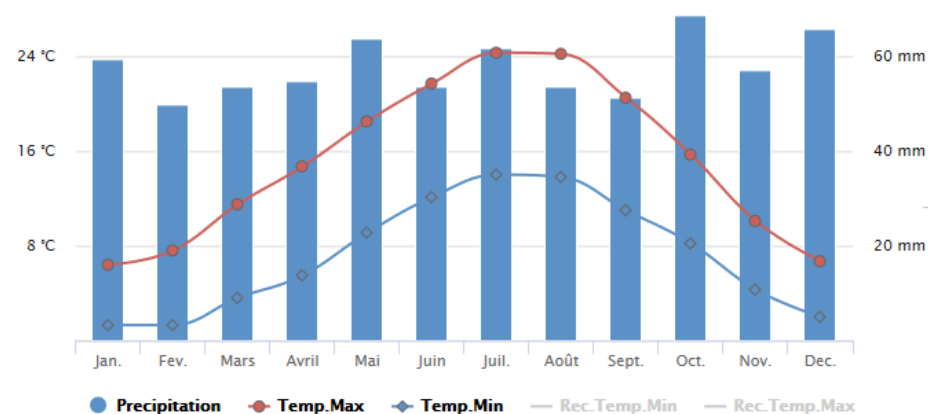
Ensoleillement

L'ensoleillement moyen sur la commune est de 46 heures en décembre et de 230 heures en juillet.

Précipitations

D'après les données de Météo France, la moyenne annuelle des précipitations s'élève à 694,2 mm et se répartit de manière régulière au cours de l'année.

Les mois de février et de septembre sont les moins pluvieux, avec des précipitations comprises en moyenne entre 50 et 51,5 mm. Les mois les plus pluvieux sont les mois d'Octobre et de Décembre, avec des hauteurs de précipitation de 66 à 68,8 mm.



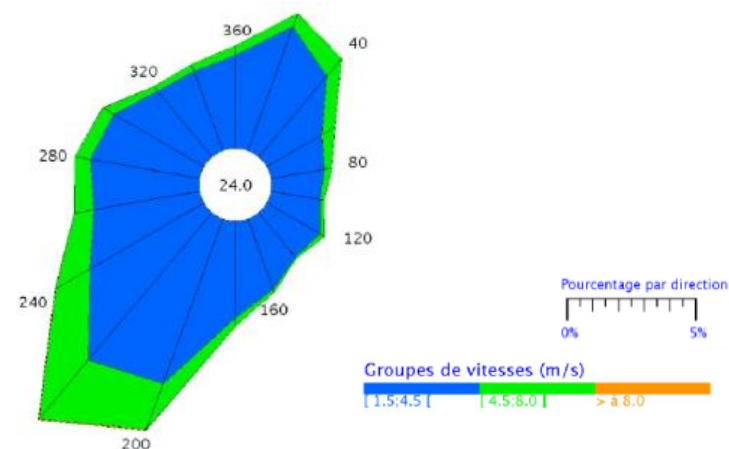
Le nombre moyen de jours de précipitations atteint 118,5 en moyenne.

FIGURE 9 TEMPERATURES ET PLUVIOMETRIE MOYENNES 1981-2010 A LA STATION DE TRAPPES - METEO FRANCE

Vent

Les vents dominants sont de secteur Sud-Ouest à 35 %, puis de secteur Nord, Nord-Est pour 15 % du temps.

Les vents recensés les plus forts ont lieu en automne et en hiver, bien que ceux-ci soient généralement assez faibles sur l'ensemble de l'année. Environ 20 % des vents sont inférieurs à 2m/s et seulement 2 % supérieurs à 8m/s.



3.2. Réseaux de chaleur

Réseau de chaleur existant

D'après l'annuaire des réseaux de chaleur et de froid élaboré par l'association Via Séva sur la période 2016-2017, aucun réseau de chaleur n'est recensé sur la commune de Poissy.

Réseau de chaleur en projet

Un réseau de chaleur est à l'étude sur la commune, dans le cadre du développement de l'Eco-quartier Rouget de l'Isle, à proximité du site PSA. Ce réseau de chaleur projeté exploiterait la ressource en énergie fatale produite par l'activité du site PSA.

Une étude de pré-faisabilité réalisée par Engie a permis de recenser 5 points de gisements cartographiés sur la figure ci-contre.

- 1 : **Station de compression** bâtiment PY11
Boucle d'eau refroidie naturellement (château d'eau)
Puissance estimée : 1,5 MW entre 30 et 40°C
- 2 : **Station de compression** bâtiment PZ08
Boucle d'eau refroidie par tour aéro-réfrigérante
Puissance estimée : 1,5MW à 30°C
- 3 : **Data center**
Boucle d'eau refroidie par tour aéro-réfrigérante
Puissance estimée : 2 MW à 30 et 40°C
- 4 : **Incinérateur de COV** bâtiment peinture
Puissance estimée : 1MW à 300°C
- 5 : **Refroidisseur cataphorèse**
Boucle d'eau refroidie par tour aéro-réfrigérante
Puissance estimée : 700 kW à 30 et 33°C



FIGURE 10 LOCALISATION DES GISEMENTS DE CHALEUR FATALE DU SITE PSA - ENGIE (2017)

Le déploiement du réseau de chaleur dans le cadre du projet d'Eco-quartier pourrait être une opportunité pour l'exploitation de la chaleur fatale en réponse aux besoins en chaleur du projet par le raccordement à ce réseau.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Réseau de chaleur fatale site PSA	Quartier / Commune	- Chaleur fatale sur le réseau - Proximité du réseau - Emprise réduite (sous-station) - Possibilité d'avoir une production EnR complémentaire raccordée au réseau	- Réseau de chaleur en projet - Extension du réseau de chaleur nécessaire pour l'alimentation du projet

3.3. La géothermie

Plusieurs types de géothermie existent. Les différences entre les différents systèmes relèvent principalement de la profondeur de la ressource exploitée, et donc de la température du gisement. Ces types de géothermie sont représentées sur le graphique suivant.

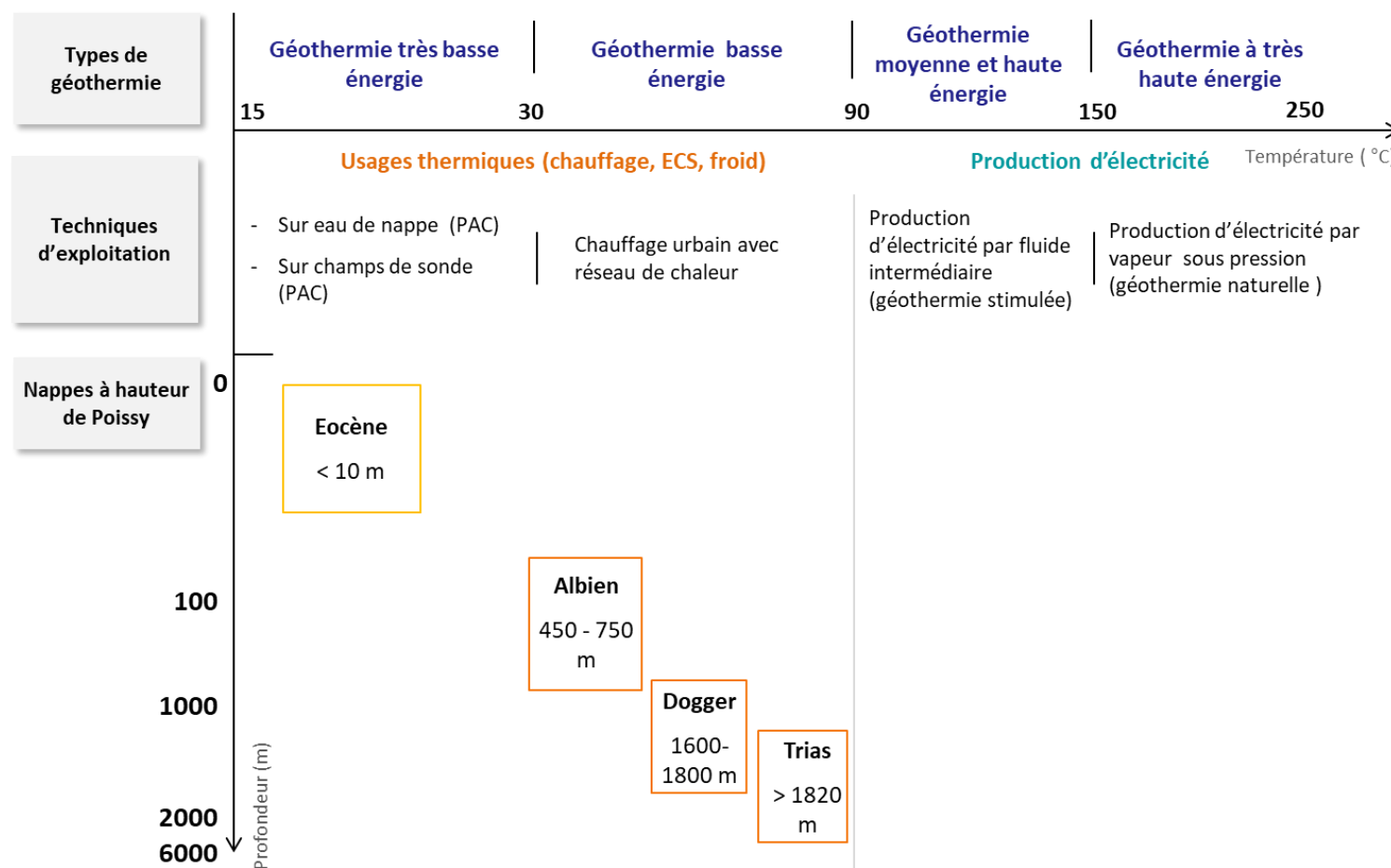


FIGURE 11 SYNTHÈSE GEOTHERMIE - VIZEA

Géothermie très basse énergie, 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.

D'après les données cartographiques du BRGM, la présence de la ressource géothermique est probable à hauteur du site. Le potentiel géothermique profond est donc favorable.

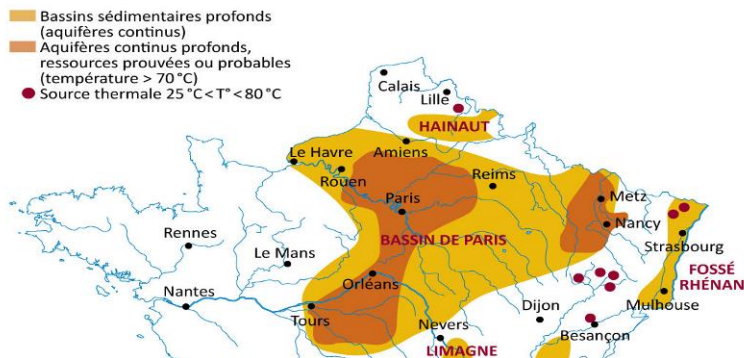


FIGURE 12 POTENTIEL DE L'AQUIFERE - BRGM

Les aquifères présents à l'échelle du bassin parisien relèvent de 3 nappes principales :

- **La nappe de l'Albien**

Cette nappe se situe à une profondeur entre 450 et 750 m, pour une température d'environ 28 °C.

La réalisation de forage géothermique n'est autorisée que dans les secteurs ne disposant actuellement pas de forages pour le captage d'eau potable. Or, un captage est réalisé au sud de Poissy pour l'exploitation de cette nappe en eau potable. Le site ne se situe pas dans le périmètre de protection, mais des relevés complémentaires devront être menés pour valider la possibilité d'ajouter des forages.

- **La nappe de Dogger**

La ville de Poissy se trouve dans une zone favorable à l'exploitation du Dogger, située à une profondeur comprise entre 1600 et 1800 m de profondeur, pour une température d'environ 50°C. Si le Dogger est largement exploité au sud du bassin parisien, l'exploitation de la ressource est inexistante dans l'ouest.

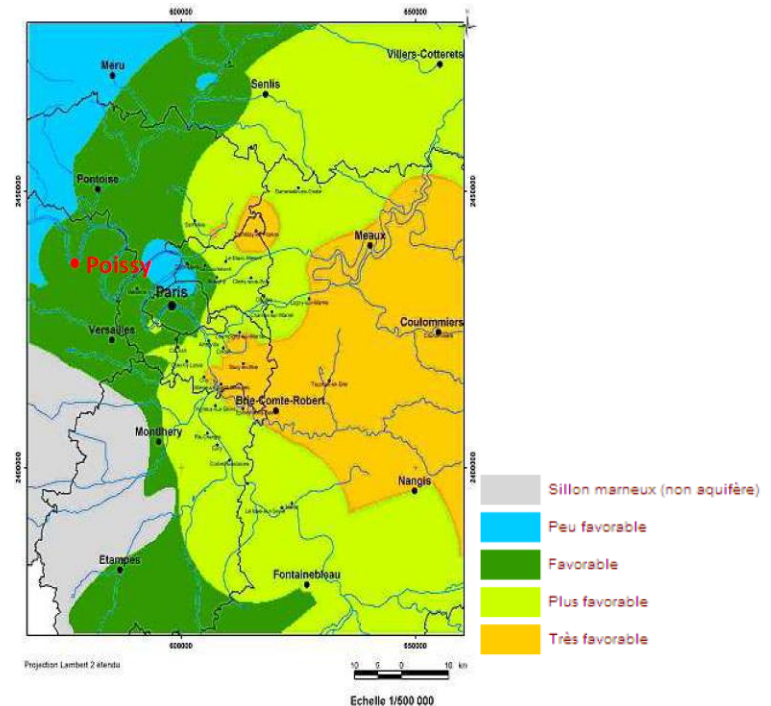


FIGURE 13 ETAT INITIAL A T0 DE LA TEMPERATURE DE L'EAU DU DOGGER ET ETAT A L'ANNEE 2010 : EVOLUTION DES "BULLES FROIDES". - BRGM

- **La nappe du Trias**

La nappe du Trias se situe à une profondeur supérieure à 1 820 m, pour une température de 70°C.

L'exploitation de l'une de ces trois nappes engendrerait des coûts d'investissement particulièrement importants, et nécessite **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**.

Compte-tenu des besoins de chaleur et de la puissance nécessaire, il apparaît que la géothermie basse énergie représente un investissement trop important pour l'opération.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Géothermie basse énergie	Quartier/ Commune	- Production importante de chaleur renouvelable	- Impose d'avoir un réseau de chaleur avec d'importants consommateurs de chaleur (10 Mw) - Nécessité de raccorder les quartiers alentours - Investissement important (profondeur des forages) - Emprise foncière importante nécessaire

Géothermie basse énergie, sur nappe superficielle

La géothermie de surface consiste en la mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) sur nappe superficielle, qui 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. Il convient donc particulièrement bien au secteur tertiaire, aux activités et commerces notamment.

Le site se trouve au niveau de la **nappe de l'Eocène moyen et inférieur**, qui est identifié comme un aquifère à fort potentiel, et au niveau de la nappe de la Craie.

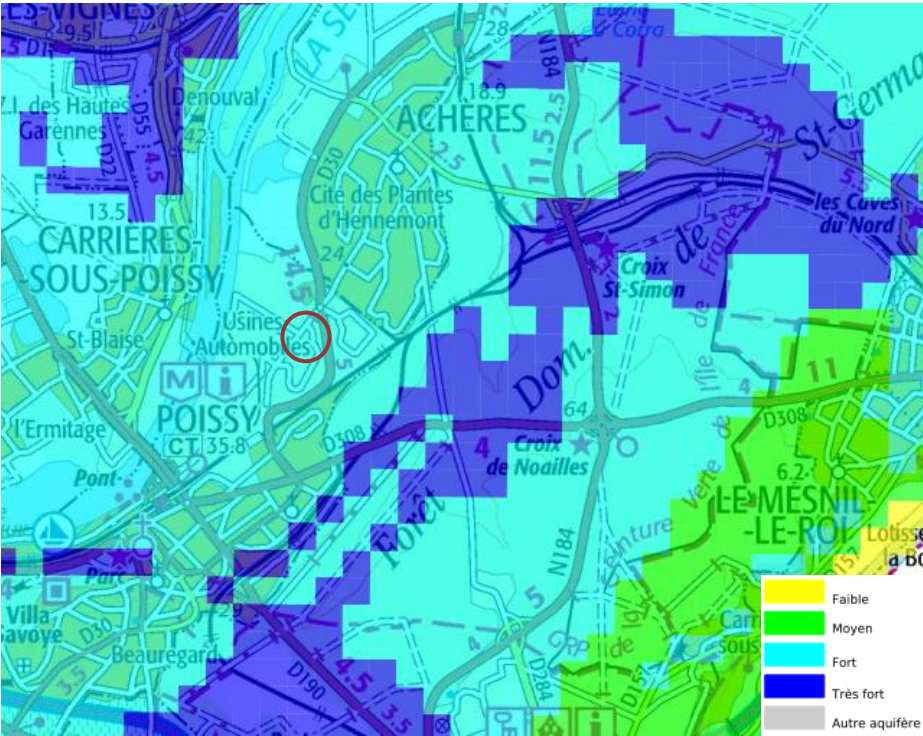


FIGURE 14 CARACTERISTIQUE DE L'Eocene MOYEN ET INFERIEUR (IDF) - GEOTHERMIE-PERSPECTIVE

Nappe de l'Eocène moyen et inférieur					
Potentiel	Profondeur	Débit	Epaisseur	Transmissivité	Minéralisation
Fort	< 10 m	10-50 m³/h	25-50m	0.001 à 0.01 m²/s	Peu minéralisée

FIGURE 15 CARACTERISTIQUE DE LA NAPPE DE L'Eocene MOYEN ET INFERIEUR - GEOTHERMIE PERSPECTIVES

La nappe de l'Eocène moyen et inférieur présente un potentiel intéressant pour une exploitation géothermique. Le débit de la nappe permet, sous réserve des résultats de forage du site, d'envisager le recours à son exploitation pour la production de chaleur et de froid.

Les caractéristiques de la nappe permettent d'estimer la puissance disponible à environ 260 kWch en chauffage et 280 kWfr en free-cooling, pour un forage avec débit moyen de référence de 30 m³/h.

Par ailleurs, la faible profondeur de la nappe permet un investissement moins important. Cependant, cette solution nécessite une emprise nécessaire aux forages.

D'après les données du BRGM sur un forage réalisé à 200 m au Sud du site en 1856, la **nappe de la craie** se situe également à hauteur du site. Cependant, aucune information sur le débit de cette nappe à hauteur du site n'est identifiée. Un **forage test** serait nécessaire pour estimer les débits disponibles de la nappe de la craie à hauteur du site et ainsi estimer les puissances de chauffage et de froid disponibles.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Géothermie basse énergie	Ilot/ Bâtiment	- Production de chaud et de froid - Possibilité de géocooling - Fort intérêt pour le programme tertiaire - Ressource disponible permettant de couvrir une partie des besoins	- Risque d'interférences s'il y a une multiplication de forages - Nécessite un appoint de production de chaleur

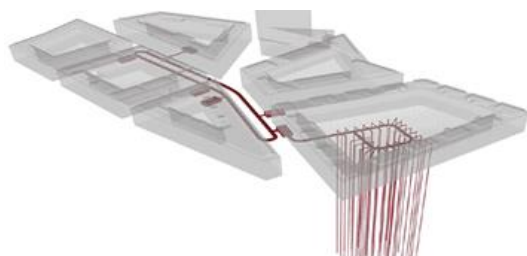
Géothermie très basse énergie sur sonde

La mise en place d'une PAC sur champs de sondes est une solution permettant l'exploitation de la ressource géothermique.

Sondes horizontales

Dans le cas où l'emprise le permet, les **sondes horizontales** sont plutôt adaptées à des maisons individuelles (faible puissance et faible investissement). Ces sondes sont relativement sensibles aux variations de températures saisonnières car peu profondes.

Sondes verticales



Les sondes implantées verticalement dans le sol, nécessitent un écartement minimum de 10 mètres entre elles afin de ne pas engendrer d'interférences thermiques.

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 5 kW. Ces systèmes sont donc généralement destinés à l'alimentation d'un ou plusieurs bâtiments, mais très rarement à celle d'un réseau de chaleur. Au total, environ **43 sondes** de ce type seraient nécessaires pour combler l'ensemble des besoins en chaud de l'opération.

Pour éviter un investissement et un nombre de sondes trop importants, 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.

En cas d'infaisabilité d'un prélèvement direct sur la nappe, les sondes géothermiques peuvent apporter une solution pour la production de chaud et de froid. Cependant, la multiplication des forages qui sera nécessaire pour satisfaire la puissance demandée rend cette solution moins avantageuse que le captage sur nappe.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Géothermie très basse énergie sur sondes	Bâtiment		- Non pertinent en présence d'une nappe superficielle

3.4. Les énergies de récupération

La récupération de chaleur sur eaux grises

L'eau chaude sanitaire constitue une consommation parfois importante. Or, la grande majorité de l'énergie produite pour chauffer l'eau est rejetée. La récupération de chaleur sur eaux grises permet ainsi de récupérer une partie de cette chaleur fatale.

La technologie type « Power-Pipe » permettant par exemple de raccorder la plomberie de quatre appartements ou condominiums à un seul système qui récupère la chaleur de l'eau chaude issue des douches pour préchauffer simultanément l'eau du réseau. Cette technologie est adaptée pour les bâtiments collectifs de un ou plusieurs étages, elle permet de récupérer jusqu'à 60 % de l'énergie évacuée. En fonction du système de chauffage de l'ECS, cela peut représenter un temps de retour sur investissement de 2 à 3 ans.

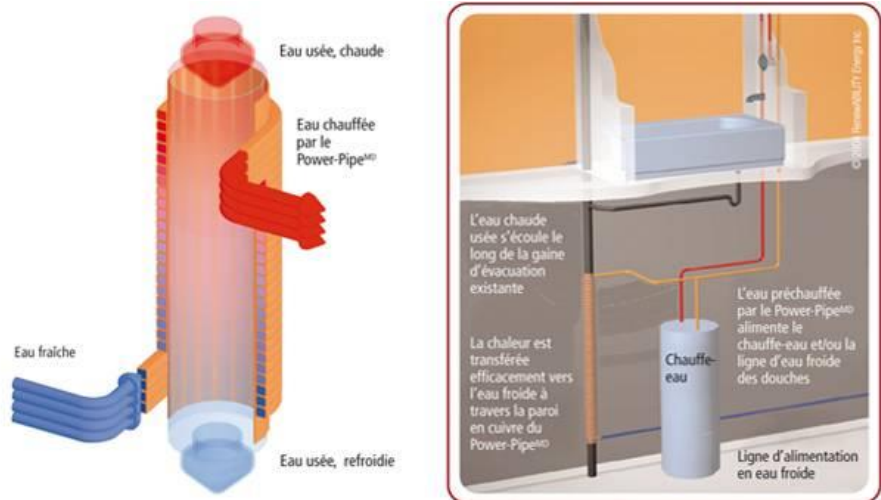


FIGURE 16 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA RECUPERATION DE CHALEUR SUR EAUX GRISSES (VERTICALE)

Ce dispositif permet donc de réduire la consommation d'ECS grâce au préchauffage de l'eau du réseau. Cette solution technologique pourra s'avérer particulièrement adaptée pour les bâtiments n'étant pas raccordés à un réseau de chaleur.

La principale contrainte de ces solutions sont qu'elles nécessitent la séparation des réseaux d'eaux vannes et d'eaux grises. Elles doivent donc être considérées dès la conception des bâtiments.

Cette technologie de récupération pourrait générer une économie non négligeable. Cependant, les faibles besoins en ECS ne font pas de cette solution un complément intéressant aux systèmes de production d'ECS.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Récupération de chaleur sur eaux grises	Bâtiment	- Système passif et simple d'entretien - 20 % de réduction des consommations d'ECS	- Faible besoins en ECS du projet' - Diminue la densité énergétique en cas de réseau de chaleur - Nécessite 2 réseaux

La récupération de chaleur sur eaux usées

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).

Issues de cuisines, salles de bains, lave-linge et lave-vaisselle, 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 dans les canalisations d'évacuation et de les transférer aux bâtiments via une pompe à chaleur.

Par ailleurs, le système est réversible. Il permet de rafraichir les bâtiments en été lorsque la température des eaux usées est inférieure à la température intérieure des bâtiments.

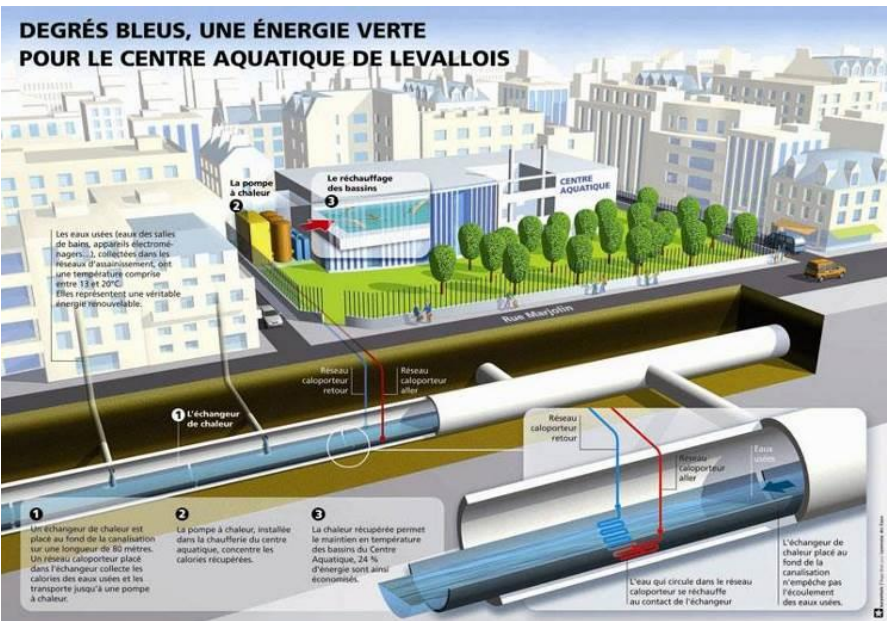


FIGURE 17 SCHEMA DU SYSTEME DE RECUPERATION DE CHALEUR DU CENTRE AQUATIQUE DE LEVALLOIS-PERRET

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, soit un bassin versant amont d'environ 8 000 habitants,
- 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.

L'absence de bâtiments à proximité et la nature du projet d'aménagement et les faibles besoins en ECS ne permettront pas d'atteindre des conditions suffisantes pour rendre cette solution intéressante.

Production	Echelle	Atouts	Contraintes
Récupération de chaleur sur eaux usées	Quartier/ Bâtiment	- Réduction des consommations d'ECS	- Faible besoins en ECS du projet' - Mauvais retour d'expérience - Travaux de génie civil

La récupération d'énergie sur groupe froid

En cas de besoins de froid spécifiques (serveurs informatiques, stockage réfrigéré), il est possible d'envisager une synergie entre l'évacuation de la chaleur produite par les groupes froid est le besoin de chaleur pour l'ECS.



FIGURE 18 EXEMPLE DE SYSTEME DE RECUPERATION D'ENERGIE SUR GROUPE FROID - RIDEL ENERGIE

La récupération d'énergie sur les groupes froids permet à la fois d'améliorer le rendement des groupes froid (dispersion de la chaleur plus facile dans l'eau que dans l'air, surtout en été lorsque l'air est à 30 °C ou plus) et de bénéficier d'un préchauffage de l'ECS gratuit, ce qui peut permettre de réduire au mieux de 30 % les besoins d'ECS.

Cela implique néanmoins une proximité immédiate entre les besoins de froid et les besoins d'ECS. Cette solution est pertinente en cas de programmation mixte mêlant activité d'habitation et activités avec besoins de froid.

Cette solution apparaît peu intéressante au regard des faibles besoins en ECS du projet.

Production	Echelle	Atout	Contrainte
Récupération d'énergie sur groupe froid	Bâtiment	- Synergie entre groupe froid et production d'ECS - Amélioration du rendement des groupes froid - Préchauffage de l'ECS	- Faible besoin en ECS du projet - Couverture des besoins dépendant des besoins en froid des activités

FIGURE 19 SYNTHESE POUR LA RECUPERATION D'ENERGIE SUR GROUPE FROID

3.5. La biomasse

Le bois énergie

Une chaudière biomasse est alimentée par des combustibles solides provenant de la filière bois. Cette technologie nécessite l'implantation d'un lieu de stockage et la combustion du bois nécessite le dépoussiérage des fumées avant leur rejet à l'air libre.

Outre l'aspect environnemental, la valorisation énergétique de la biomasse présente des intérêts économiques et sociaux qu'il est intéressant de considérer.



FIGURE 20 PRINCIPE D'UNE CHAUFFERIE BOIS

Le bois est aujourd'hui une des sources d'énergie les moins chères parmi celles disponibles et son prix profite d'une stabilité dans le temps que ne possèdent pas les sources d'énergie fossiles et électriques.

La **biénergie** consiste à associer une chaufferie à combustible fossile (principalement gaz naturel) à la chaufferie bois. La chaufferie bois est conçue pour assurer la base des besoins énergétiques des bâtiments, elle fonctionne de façon plus continue à puissance nominale avec de meilleures performances énergétiques. La chaudière d'appoint, assure le complément de puissance pendant les périodes les plus froides de l'année, voire le secours en cas d'arrêt technique de la chaudière bois.

Une chaudière biomasse n'est que rarement dimensionnée pour couvrir la totalité des besoins de chaleur. Le principe de la biénergie permet l'optimisation technique et économique des projets.

Ainsi, une chaudière bois dimensionnée à 50 – 60 % de la puissance appelé peut couvrir jusqu'à 85 % des besoins énergétiques sur une année de chauffe.

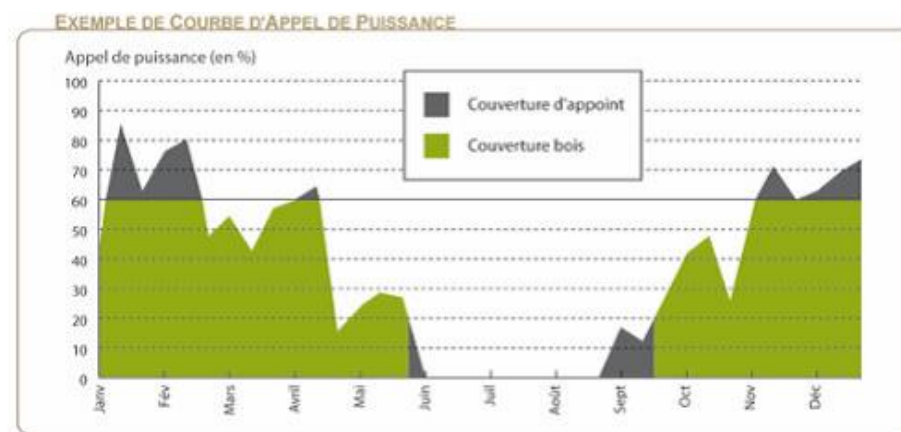


FIGURE 21 DIMENSIONNEMENT DE LA PUISSANCE D'UNE CHAUDIERE BOIS

A l'échelle de l'Île-de-France, environ 225 000 tonnes de bois de forêt et 15 000 tonnes de bois industrie sont disponibles. Le bois d'industrie est plus facile à collecté que le bois de forêt et par conséquent moins cher. Il est donc favorisé pour la valorisation énergétique.

La ressource en bois aux alentours de Poissy, dans le département des Yvelines et les départements proches (Val d'Oise, Oise, Eure et Eure-et-Loire) est abondante et permet l'approvisionnement du site. De plus, la plateforme de Montesson se trouvant à moins de 15 km du site permet l'approvisionnement de bois de proximité.

Cette solution nécessite un réseau de chaleur pour assurer une économie et un fonctionnement optimaux. Une chaudière bois peut aussi être implantée pour un seul bâtiment (plutôt un gros consommateur de chaleur) ou pour un ensemble de bâtiments très proches (mini-réseau de chaleur).

Production	Echelle	Atout	Contrainte
Bois énergie	Bâtiment / Quartier	- Facilité d'accès pour la livraison du combustible	- Emprise foncière importante (stockage et aire de livraison)

3.6. L'énergie solaire

Le projet est situé dans une zone géographique qui ne bénéficie pas d'un ensoleillement optimal.

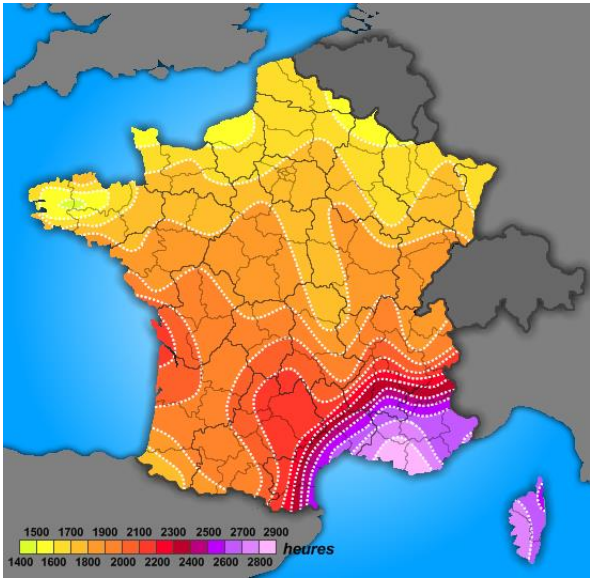


FIGURE 22 CARTE DE L'ENSOLEILLEMENT ANNUEL - METEO-EXPRESS

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Globale (IGH)	27	43	89	118	155	168	165	138	101	61	30	22	1117
Directe (IBH)	8	14	39	51	71	80	78	62	46	24	8	6	487
Diffuse (IDH)	19	29	50	67	84	87	88	76	55	38	21	16	630

FIGURE 23 IRRADIATION SOLAIRE CUMULEE (kWh/m²) – CAL-SPOL

Les données estimées par l'outil Cal-Sol de l'Institut National de l'Energie Solaire permettent d'estimer le gisement solaire à 1 117 kWh/m²/an pour les zones les plus exposées (sans ombrages) et les mieux orientées (plein sud).

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 durant l'hiver avec une production de l'ordre de 15 % à 20 %. Les besoins en ECS des logements étant relativement importants, il est particulièrement opportun d'installer de tels systèmes sur les toitures de ce type de bâtiments.

Dans le cas de bâtiments de bureaux ou d'activités, les besoins en ECS sont en général relativement faibles. Il n'est donc pas judicieux d'installer de tels systèmes sur les toitures de bâtiment accueillant des activités tertiaires, sauf si d'importants besoins d'ECS sont clairement identifiés au sein du bâtiment. Pour ces bâtiments, il est plus avantageux de dédier ces toitures à la mise en place de solutions photovoltaïques intégrées.

Le gisement de solaire thermique est évalué en fonction de l'ensoleillement moyen sur le site. En considérant des panneaux solaires thermiques plans, ayant un rendement de l'ordre de 30 % en moyenne, cela représente une production potentielle de 335 kWh/m²/an de chaud. Dans le cas de capteurs sous vide, ayant un rendement supérieur (environ 35 %), cette production peut en moyenne être estimée à 390 kWh/m²/an.

La production d'ECS par capteurs solaires thermiques présente un intérêt limité du fait des faibles besoin en ECS.

Production	Echelle	Atout	Contrainte
Solaire thermique	Bâtiment	- Couverture de 50 % des besoins d'ECS - Simplicité du système - Faible coût de l'énergie	- Faibles besoins en ECS du projet - Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage - Impose d'avoir une production d'ECS centralisée - Diminue la densité énergétique en cas de réseau de chaleur

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.

Le potentiel du projet est évalué à environ 112 kWh/an/m² (en fonction des technologies de capteurs utilisés cette production peut être plus faible ou plus forte), soit un potentiel intéressant et donnant pour une rentabilité à moyen terme compte tenu des tarifs d'achat de l'électricité en vigueur aujourd'hui.

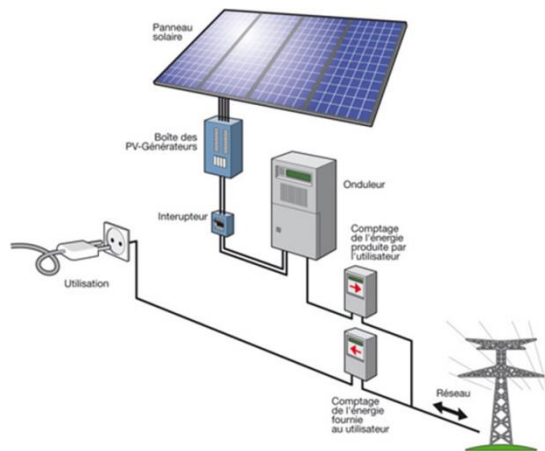


FIGURE 24 SCHEMA D'IMPLANTATION EN REVENTE DE L'ÉLECTRICITÉ

Cependant, compte tenu de l'augmentation du prix de l'électricité à prévoir dans les prochaines années, une autre alternative peut s'avérer intéressante : l'autoconsommation.

Cette alternative permet de produire de l'énergie à un coût fixe dans le temps et donc de réaliser des économies à long terme. Cette solution n'est toutefois pas mutualisable à plusieurs bâtiments ou ensemble de bâtiments. En effet, l'énergie produite doit être consommée sur place pour ne pas avoir à créer un deuxième réseau d'électricité en plus de celui d'Enedis.

L'autoconsommation doit donc être en priorité utilisée sur les bâtiments tertiaires ou commerciaux. Une étude spécifique à l'échelle de ces bâtiments, lorsque ceux-ci seront définis plus précisément, devra donc être menée pour déterminer la pertinence de cette solution pour le projet.

La programmation actuelle du projet permet d'estimer une production possible de **10 008 MWh/an**, correspondant à environ 100 % des besoins en électricité du projet, par l'implantation de panneaux photovoltaïques sur une surface d'environ 9 000 m², soit environ **la moitié** des surfaces de toiture.

Le photovoltaïque est un des rares systèmes EnR à produire de l'électricité, qui représente une part importante des besoins. Un travail peut être mené pour optimiser l'orientation des toitures et des bâtiments, ce qui permettra une approche bioclimatique et d'optimisation de la production PV (objectif pour la production électrique : plein sud et 30° d'inclinaison).

Les tarifs d'achat sont actuellement dans la moyenne européenne et permettent d'avoir un temps de retour sur investissement de l'ordre de 20 ans. Cependant, avec l'augmentation du coût de l'électricité conventionnelle, l'autoconsommation pour les bâtiments tertiaires et commerciaux peut s'avérer intéressante.

Production	Echelle	Atout	Contrainte
Solaire photovoltaïque	Bâtiment /ilot	- Indépendant des besoins énergétiques (souplesse de déploiement) - Production locale d'électricité renouvelable - Possibilité d'autoconsommation d'énergie	- Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage

Le solaire hybride

L'utilisation de l'énergie solaire est généralement séparée en deux grandes technologies : le solaire photovoltaïque (pour la production d'électricité) et le solaire thermique (pour la production de chaleur). Le solaire hybride est l'association de ces deux technologies solaires en un seul panneau capable de produire simultanément du chaud et de l'électricité.

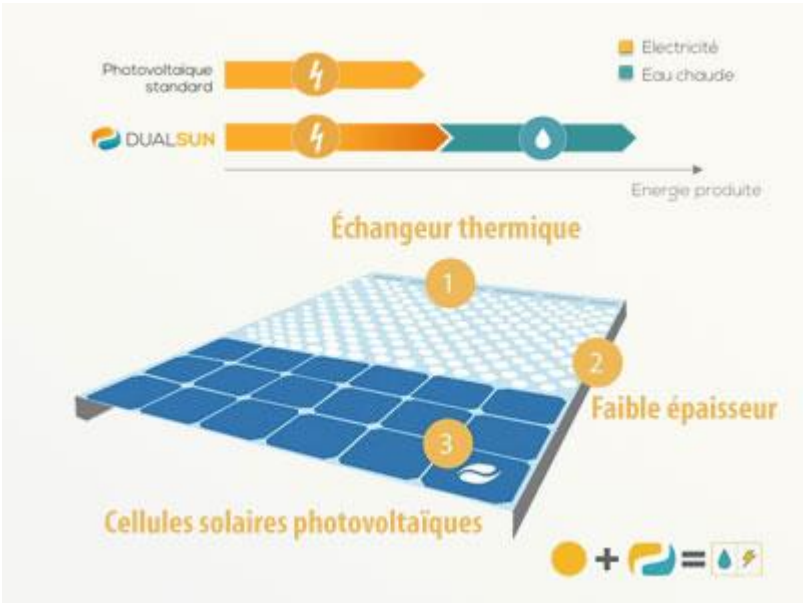


FIGURE 25 SCHEMA DE PRINCIPE DU SOLAIRE HYBRIDE

La technologie solaire hybride est née de ces deux constats sur le photovoltaïque :

- Seule une faible partie de l'énergie du soleil captée par les panneaux est transformée en électricité, 85% de cette énergie est perdue sous forme de chaleur,
- Le rendement des panneaux photovoltaïques diminue avec la température à raison de 0,3 % à 0,5 % par degré. C'est la tension de

fonctionnement qui diminue de manière importante avec la température comme le montre le graphique ci-dessous.

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).

La production d'ECS par capteurs solaires hybrides présente un intérêt pour le cas où un bâtiment aurait des besoins d'ECS significatifs (cas possible dans le cas d'une entreprise agroalimentaire par exemple).

Production	Echelle	Atout	Contrainte
Solaire hybride	Bâtiment	- Couverture des besoins d'ECS - Production locale d'électricité renouvelable - Possibilité d'autoconsommation	- Faible besoin en ECS du projet - Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage - Impose d'avoir une production d'ECS centralisée - Diminue la densité énergétique en cas de réseau de chaleur

3.7. L'éolien

Grand et moyen éolien

Tout comme la mise en place de systèmes photovoltaïques, l'implantation d'éoliennes représente une opportunité pour la production locale d'électricité.

Le Schéma Régional de l'Eolien, approuvé en 2012 et constituant un volet annexé au Schéma Régional du Climat de l'Air et de l'Energie (SRCAE) a été annulé en 2014.

Cependant, les zones favorables définies dans ce document ne présentaient pas le site comme favorable pour l'implantation d'éoliennes. Le Sud de la commune de Poissy, en revanche, correspond en partie à une zone favorable à forte contraintes.

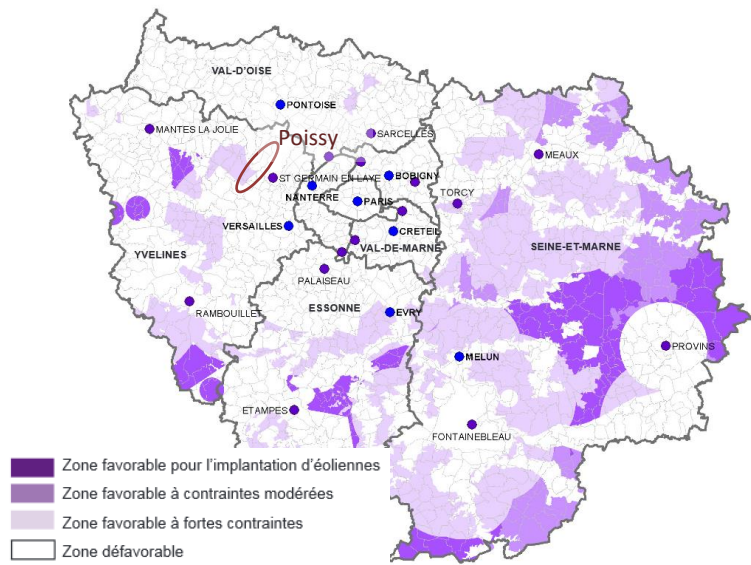


FIGURE 26 ZONES FAVORABLES A L'IMPLANTATION D'EOLIENNES - SRE IDF(2012)

Les éoliennes de bâtiment

Cette filière est la plus récente et n'a pas encore fait ses preuves. Les machines existantes vont de quelques kW à quelques centaines de kW. Principales contraintes auxquelles elles doivent s'adapter : les vents turbulents sur les toitures, la réduction de tout bruit et l'absence de vibrations transmises aux bâtiments.

La faisabilité de cette solution n'est pas encore démontrée et la production énergétique potentielle est beaucoup plus réduite que dans le cas d'un champ d'éoliennes terrestres.

Production	Echelle	Atout	Contrainte
Eolien	Bâtiment	- Production locale d'électricité	- Site non adapté - Faible potentiel, à évaluer en fonction des corridors de vent créés par la disposition des bâtiments - Investissement non rentabilisé

3.8. Bilan des atouts et contraintes

Production	Echelle	Atouts	Contraintes	Taux ENR			
				Chauffage	ECS	Electricité	Total
Réseau de chaleur fatale site PSA	Quartier / Commune	- Chaleur fatale sur le réseau - Proximité du réseau - Emprise réduite (sous-station) - Possibilité d'avoir une production EnR complémentaire raccordée au réseau	- Réseau de chaleur en projet - Extension du réseau de chaleur nécessaire pour l'alimentation du projet	80%	80%	0%	18%
Géothermie basse énergie	Quartier / Commune	- Production importante de chaleur renouvelable	- Impose d'avoir un réseau de chaleur avec d'importants consommateurs de chaleur (10 Mw) - Nécessité de raccorder les quartiers alentours - Investissement important - Emprise foncière	90%	90%	0%	20%
Géothermie très basse énergie sur eaux de nappe	Quartier / Ilot / Bâtiment	- Production de chaud et de froid - Possibilité de géocooling - Fort intérêt pour le programme tertiaire - Ressource disponible permettant de couvrir une partie des besoins	- Risque d'interférences si il y a une multiplication de forages - Nécessite un appoint de production de chaleur	90%	80%	0%	20%
Géothermie très basse énergie sur sondes	Bâtiment		- Non pertinent en présence d'une nappe superficielle	Non pertinent			
Solaire thermique	Bâtiment	- Couverture de 50 % des besoins d'ECS - Simplicité du système - Faible coût de l'énergie	- Faible besoin en ECS du projet - Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage - Impose d'avoir une production d'ECS centralisée - Diminue la densité énergétique en cas de réseau de chaleur	0%	50%	0%	1%
Solaire photovoltaïque	Bâtiment / Quartier	- Indépendant des besoins énergétiques (souplesse de déploiement) - Production locale d'électricité renouvelable - Possibilité d'autoconsommation	- Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage	0%	0%	100%	78%
Solaire hybride	Bâtiment	- Couverture des besoins d'ECS - Production locale d'électricité renouvelable - Possibilité d'autoconsommation	- Faible besoin en ECS du projet - Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage - Impose d'avoir une production d'ECS centralisée - Diminue la densité énergétique en cas de réseau de chaleur	0%	50%	10%	9%
Grand et moyen éolien	Quartier	- Production locale d'électricité	- Site non adapté - Faible potentiel	Non pertinent			
Petit éolien	Bâtiment	- Production locale d'électricité	- Faible potentiel, à évaluer en fonction des corridors de vent créés par la disposition des bâtiments - Investissement non rentabilisé	Non pertinent			
Récupération d'énergie sur eaux grises	Bâtiment	- Système passif et simple d'entretien - 20 % de réduction des consommations d'ECS	- Faible besoins en ECS du projet - Diminue la densité énergétique en cas de réseau de chaleur - Nécessite 2 réseaux	0%	20%	0%	0%
Récupération d'énergie sur eaux usées	Bâtiment / Quartier	- Réduction des consommations d'ECS	- Faible besoins en ECS du projet - Mauvais retour d'expérience - Travaux de génie civil	Non pertinent			
Récupération d'énergie sur groupe froid	Bâtiment	- Synergie entre groupe froid et production d'ECS - Amélioration du rendement des groupes froid - Préchauffage de l'ECS	- Faible besoin en ECS du projet - Couverture des besoins dépendant des besoins en froid des activités	0%	5%	0%	0%
Bois énergie	Bâtiment / Quartier	- Facilité d'accès pour la livraison du combustible	- Emprise foncière importante (stockage et aire de livraison notamment)	80%	80%	0%	18%

4. ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE

4.1. Scénarios étudiés

A cette étape de conception et de définition du programme, ces scénarios sont à prendre avec un certain recul. En effet, la programmation et les activités des futurs preneurs peuvent fortement influencer les types de solutions et de ressources les plus pertinentes.

Les différents scénarios d'approvisionnement sont construits de la manière suivante :

- **Scénario de référence** : ce scénario correspond au minimum réglementaire pour le niveau de performance et fait appel à des PAC réversibles air/air pour couvrir les besoins de chaud et de froid. Les besoins en ECS sont couverts par des ballons électriques.
- **Scénario solaire photovoltaïque** : le niveau de performance est inchangé par rapport au scénario de base, et fait appel à des systèmes techniques classiques nécessitant un investissement limité : chaudières gaz et ballon d'ECS électrique, associés à des panneaux photovoltaïques permettant de couvrir une part des besoins en électricité
- **Géothermie sur nappe** : le niveau de performance est inchangé par rapport au scénario de base. Les besoins de chaud et de froid sont en parti couvert par un forage géothermique et la création d'un réseau de chaleur à l'échelle de l'îlot. Les besoins en chaud et en froid supplémentaire sont couverts par un appoint gaz et un groupe froid.
- **Scénario sobriété** : le niveau de performance est équivalent à RT 2012 – 20 %. Les systèmes techniques sont identiques au scénario solaire photovoltaïque : chaudières gaz, et ballon d'ECS électrique.

	Niveau	Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Scénario de référence	RT2012	PAC air/air réversible	Ballon électrique	PAC air/air réversible	Réseau électrique national
Scénario 1 : solaire photovoltaïque	RT2012	Système gaz dédié par bâtiment	Ballon électrique	Groupe froid par bâtiment	Photovoltaïque + réseau électrique national
Scénario 2 : géothermie sur nappe	RT2012	Géothermie regroupement des bâtiments	Géothermie regroupement des bâtiments Appoint gaz	Géothermie regroupement des bâtiments	Réseau électrique national
Scénario 3 : solaire photovoltaïque et sobriété	RT2012 -20 %	Système gaz dédié par bâtiment	Ballon électrique	Groupe froid par bâtiment	Photovoltaïque + réseau électrique national

FIGURE 27 SCENARIOS D'APPROVISIONNEMENT ETUDIES

4.2. Hypothèses

Ressource	Tarif	Coût de l'énergie + abonnement (€/kWh)	Variation Annuelle (%)
Electricité	Electricité domestique	0,16	4,80%
	Electricité entreprise	0,12	5,00%
	Electricité industriels	0,1	5,00%
Gaz	Gaz naturel domestique	0,06	4,00%
	Gaz naturel entreprise/professionnel	0,05	4,00%

FIGURE 28 HYPOTHESES ECONOMIQUES - COÛTS DES ENERGIES

Ressource	Ratio EP/EF	Emissions de GES (g eqCO ₂ /kWh)	Emissions de SO ₂ (g/kWh)	Emissions de NO _x (g/kWh)	Déchets Nucléaires FMA (g/kWh)	Déchets Nucléaires HA (g/kWh)	% EnR
Electricité	3,15	180	0,89	0,47	0,05	0,01	13,6%
Gaz	1,1	234	0	0,17	0	0	0,03%

FIGURE 29 HYPOTHESES ECONOMIQUES - INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX

Type installation	Puissance (kWc)	Tarifs (c€/kWh) du 1/10 au 31/12/17
Intégration au bâti (avec prime IAB jusqu'au 30/09/18)	≤ 3 kWc	18,48 + 3 = 21,48 €
	≤ 9 kWc	15,71 + 3 = 18,71 €
Intégration simplifiée au bâti (ISB)	≤ 3 kWc	18,48 €
	≤ 9 kWc	15,71 €
Non intégré au bâti ou IAB/ISB < 100kWc	≤ 36 kWc	12,07 €
	≤ 100 kWc	11,36 €

FIGURE 30 TARIF DE RACHAT DE L'ELECTRICITE PHOTOVOLTAÏQUE - LES-ENERGIES-RENOUVELABLES.EU

4.3. Description des indicateurs environnementaux

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.

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'eau chaude sanitaire (ECS) pour les usagers.

Ratio de consommation des ressources

Ce ratio permet d'évaluer l'énergie primaire consommée pour une production d'énergie donnée. Elle permet en quelque sorte de comparer l'efficacité des différentes installations dans la production de chaud et de froid.

Part d'EnR

Les énergies renouvelables (EnR en abrégé) 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.

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 ».

Emissions de SO₂ et NO_x

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant, notamment pour l'appareil respiratoire, et qui contribue avec les oxydes d'azote (NO_x) et l'ammoniac (NH₃), à la pollution acide. Les rejets de dioxyde de soufre (SO₂) sont dus en grande majorité à l'utilisation de combustibles fossiles soufrés (charbon, lignite, coke de pétrole, fioul lourd, fioul domestique, gazole, etc.).

Les oxydes d'azote (NO_x) regroupent essentiellement deux types de molécules polluantes : le monoxyde d'azote (NO), et le dioxyde d'azote (NO₂). Les NO_x sont des gaz irritants et très nocifs pour la santé humaine, qui pénètrent dans les ramifications les plus fines des voies respiratoires et peuvent provoquer des difficultés respiratoires. Ils participent également à l'eutrophisation des sols et l'augmentation de l'effet de serre. Ils sont généralement calculés en équivalents NO₂.

Emissions de déchets nucléaires

Les déchets de faible et moyenne activité sont essentiellement des déchets liés à la maintenance (vêtements, outils, gants, filtres...) et au fonctionnement des installations nucléaires (traitements d'effluents liquides ou gazeux). Ces déchets sont également issus d'opérations d'assainissement et de démantèlement.

Les déchets de haute activité sont ceux dont la gestion est prioritaire. Leur très forte radioactivité provient de la présence d'atomes extrêmement radioactifs dans le combustible usé déchargé des réacteurs.

4.4. Analyse et comparaison des scénarios

Chaleur

	Chauffage		ECS
Scénario de référence	RT2012	PAC air/air réversible	Ballon électrique
Scénario 1 Solaire photovoltaïque	RT2012	Système gaz dédié par bâtiment	Ballon électrique
Scénario 2 Géothermie sur nappe	RT2012	Géothermie regroupement des bâtiments	Géothermie regroupement des bâtiments Appoint gaz
Scénario 3 Solaire photovoltaïque et sobriété	RT2012 -20%	Système gaz dédié par bâtiment	Ballon électrique

Comparaison économique

	Investissement (€)	Coût moyen de l'énergie (€/MWh)	Coût moyen de l'entretien maintenance (€/MWh)	Temps de retour (années)
Scénario 0 - Référence / RT2012	88000,00	138	12,74	6
Scénario 1 - PV / RT2012	21600,00	114	3,70	0
Scénario 2 - Géothermie / RT2012	108892,50	36	3,77	2
Scénario 3 - PV / RT2012-20%	12000,00	122	3,00	0

FIGURE 31 COMPARAISON ECONOMIQUE DES SCENARIOS – CHALEUR

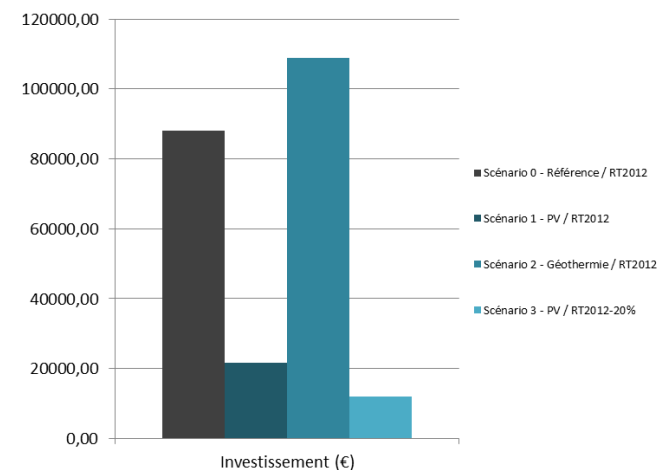


FIGURE 32 COMPARAISON DES MONTANTS D'INVESTISSEMENTS – CHALEUR

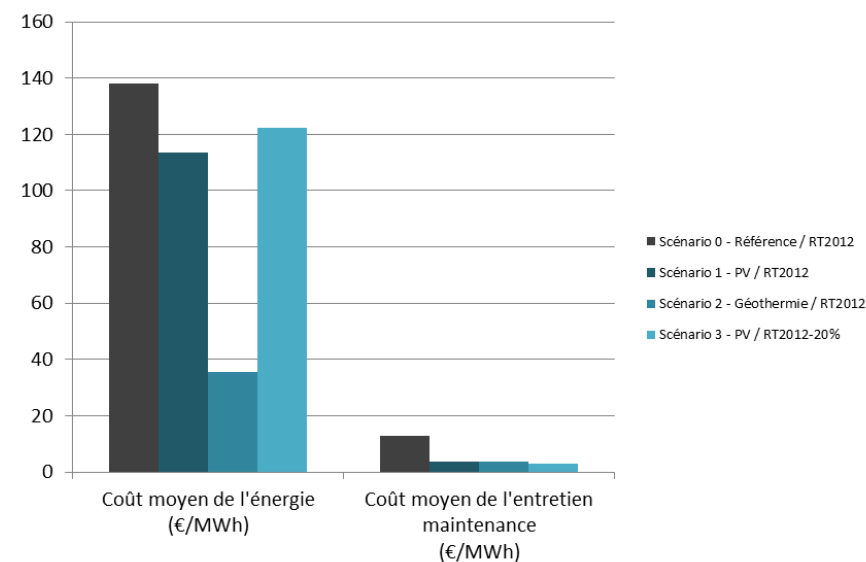


FIGURE 33 COMPARAISON DES COUTS A L'EXPLOITATION - CHALEUR

Comparaison environnementale

	Taux EnR (%)	Consommation EP (MWhEP/an)	Ratio EP/EF (%)	Emissions GES (T eq CO2/an)
Scénario 0 - Référence / RT2012	62%	533	139%	30
Scénario 1 - PV / RT2012	1%	449	117%	83
Scénario 2 - Géothermie / RT2012	67%	277	72%	30
Scénario 3 - PV / RT2012-20%	2%	302	126%	52

FIGURE 34 COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE DES SCENARIOS – CHALEUR

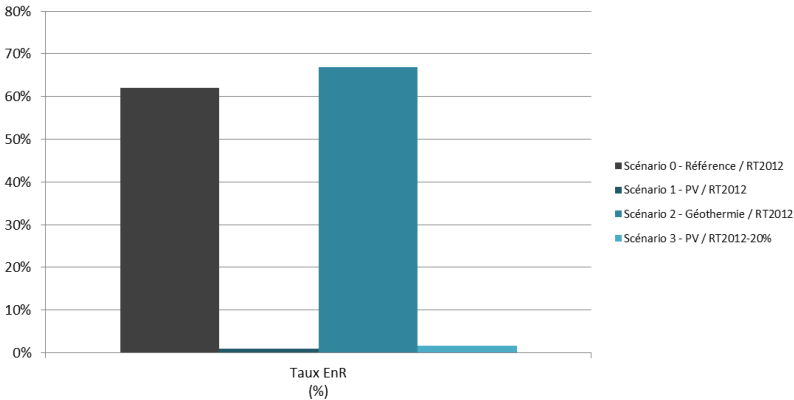


FIGURE 35 TAUX ENR - CHALEUR

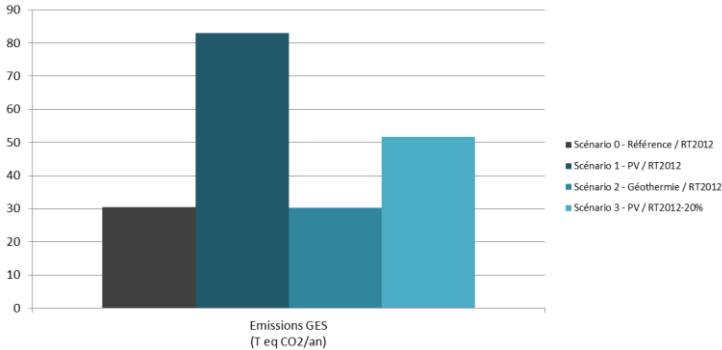


FIGURE 36 EMISSIONS DE GES- CHALEUR

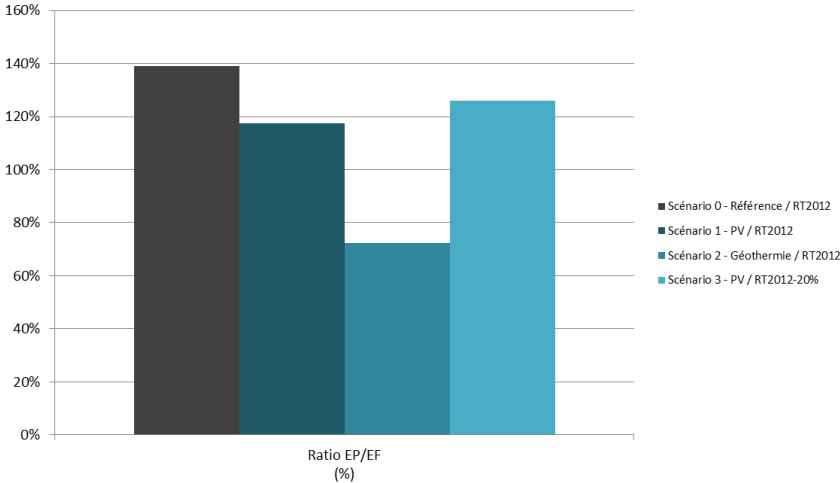


FIGURE 37 RATIO EP/EF - CHALEUR

Concernant les besoins de chaleur, relevant des besoins de chauffage et d’ECS, les scénarios 1 et 3, mobilisant un système gaz sont les moins coûteux à l’investissement.

La solution géothermique engendre le surcoût le plus important, comparativement aux solutions gaz et aux PAC air/air réversible, permettant la production simultanée de froid et de chaud. Ce scénario implique également d’avoir un regroupement de bâtiments et d’utilisateurs autour d’un même système de production, ce qui contraint le phasage du projet. Par ailleurs, la ressource géothermique permet de couvrir la quasi-totalité des besoins de chaud, ce qui engendre un bilan environnemental plus favorable.

Le scénario 3, visant une performance énergétique accrue par rapport aux valeurs réglementaires (RT2012-20%) permet la **réduction des besoins en chaleur** pour le chauffage et ainsi engendre **un dimensionnement et par conséquent un investissement moins importants**, à système technique égal.

Froid

	Froid	
Scénario de référence	RT2012	PAC air/air réversible
Scénario 1 Solaire photovoltaïque	RT2012	Groupe froid par bâtiment
Scénario 2 Géothermie sur nappe	RT2012	Géothermie regroupement des bâtiments
Scénario 3 Solaire photovoltaïque et sobriété	RT2012 -20%	Groupe froid par bâtiment

Comparaison économique

	Investissement (€)	Coût moyen de l'énergie (€/MWh)	Coût moyen de l'entretien maintenance (€/MWh)
Scénario 0 - Référence / RT2012	53500,00	208,27	16,89
Scénario 1 - PV / RT2012	170280,00	156,19	45,10
Scénario 2 - Géothermie / RT2012	428647,50	35,62	16,38
Scénario 3 - PV / RT2012-20%	106425,00	156,18	46,98

FIGURE 38 COMPARAISON ECONOMIQUE DES SCENARIOS – FROID

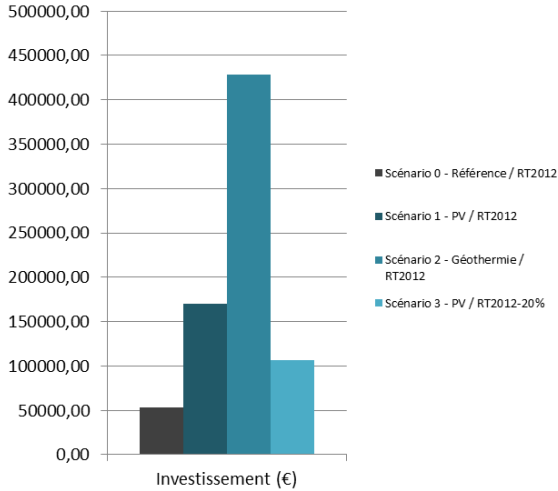


FIGURE 39 COMPARAISON DES MONTANTS D'INVESTISSEMENTS – FROID

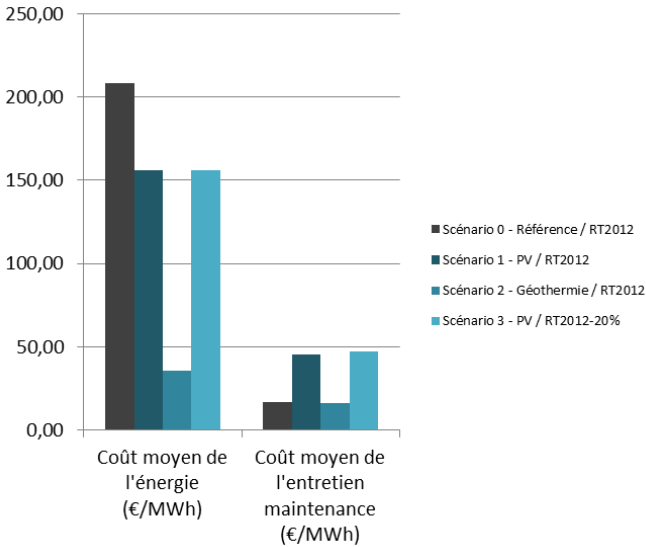


FIGURE 40 COMPARAISON DES COUTS A L'EXPLOITATION - FROID

Comparaison environnementale

	Taux EnR (%)	Consommation EP (MWhEP/an)	Ratio EP/EF (%)	Emissions GES (T eq CO2/an)
Scénario 0 - Référence / RT2012	42%	377	210%	22
Scénario 1 - PV / RT2012	57%	283	158%	16
Scénario 2 - Géothermie / RT2012	74%	182	101%	10
Scénario 3 - PV / RT2012-20%	57%	170	158%	10

FIGURE 41 COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE DES SCENARIOS – FROID

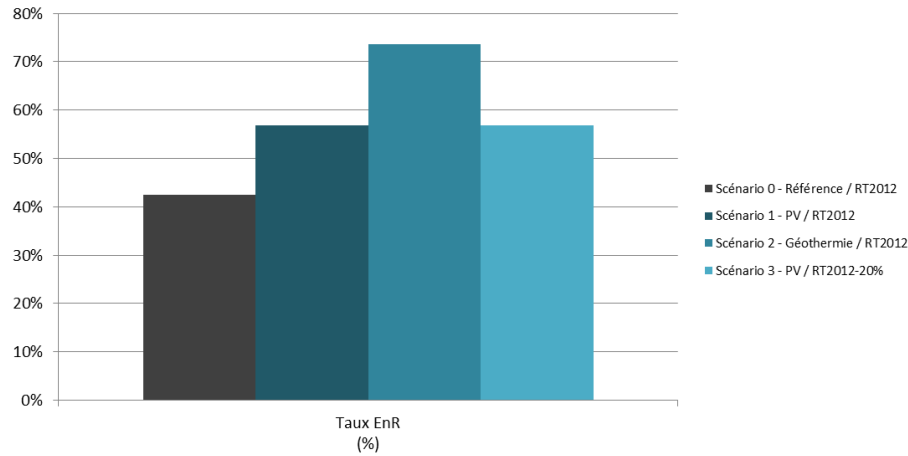


FIGURE 42 TAUX ENR – FROID

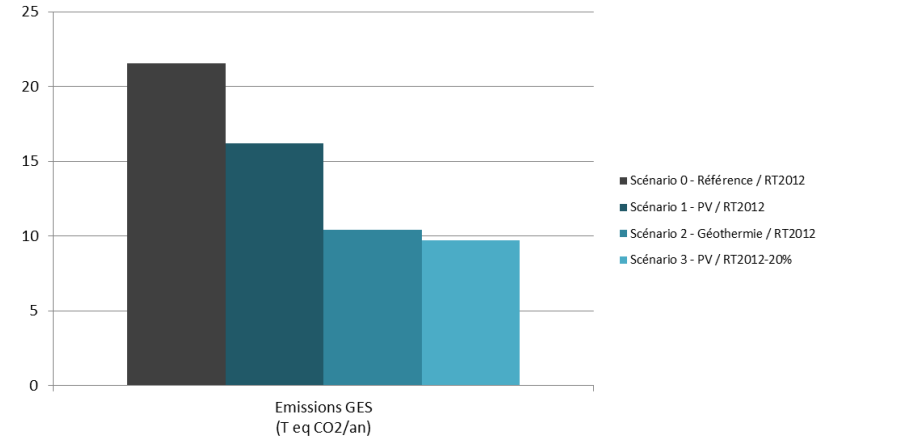


FIGURE 43 EMISSIONS DE GES- FROID

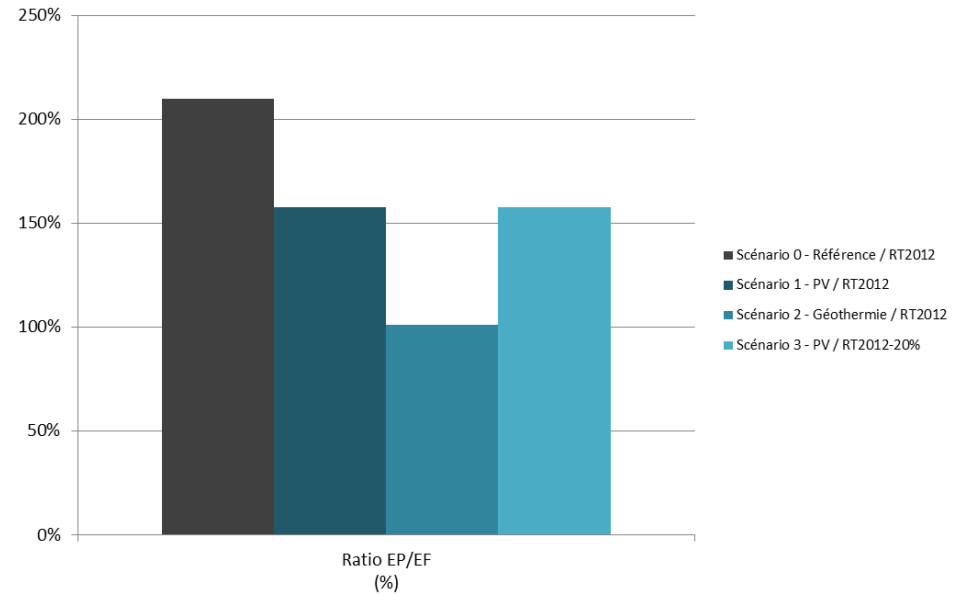


FIGURE 44 RATIO EP/EF – FROID

Les besoins de froid estimés du projet a été réalisée selon des ratios correspondant aux types d’usages projetés des bâtiments. Cependant, ces besoins sont très variables et liés à la fois à la conception des bâtiments qu’au process des activités.

La réalisation d’un doublet géothermique présente un investissement 2 à 6 fois plus important que la mise en œuvre d’une solution plus classique telle des groupes froids par bâtiment ou PAC air/air réversibles. Cependant, la géothermie ne permet de combler qu’au maximum 80% des besoins en froid estimés. Ainsi, la mise en œuvre d’un groupe froid complémentaire pour couvrir l’ensemble des besoins.

Electricité

Electricité		
Scénario de référence	RT2012	Réseau électrique national
Scénario 1 Solaire photovoltaïque	RT2012	Photovoltaïque + réseau électrique national
Scénario 2 Géothermie sur nappe	RT2012	Réseau électrique national
Scénario 3 Solaire photovoltaïque et sobriété	RT2012 -20%	Photovoltaïque + réseau électrique national

Comparaison économique

	Investissement (€)	Coût moyen de l'énergie (€/MWh)	Coût moyen de l'entretien maintenance (€/MWh)	Temps de retour (années)
Scénario 0 - Référence / RT2012	0,00	312,42	0,00	0,00
Scénario 1 - PV / RT2012	2215950,00	25,44	28,48	17,00
Scénario 2 - Géothermie / RT2012	0,00	127,22	0,00	0,00
Scénario 3 - PV / RT2012-20%	2215950,00	25,44	28,48	17,00

FIGURE 45 COMPARAISON ECONOMIQUE DES SCENARIOS – ELECTRICITE

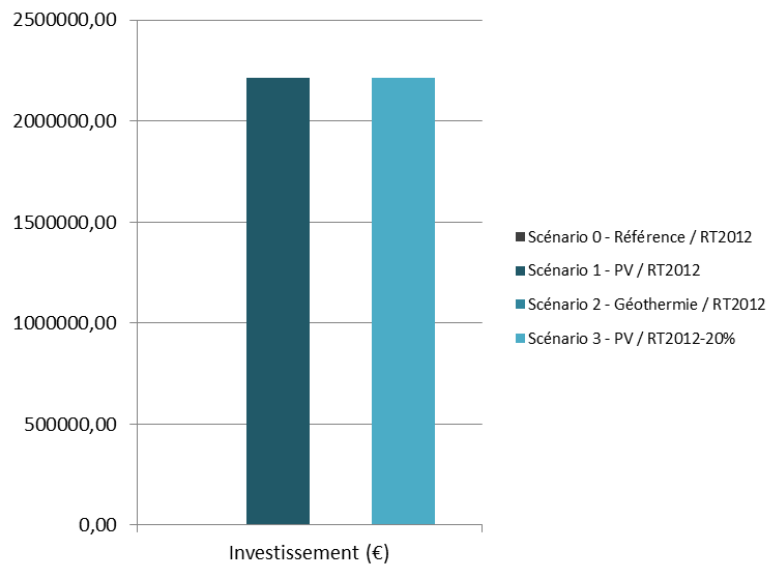


FIGURE 46 COMPARAISON DES MONTANTS D'INVESTISSEMENTS – ELECTRICITE

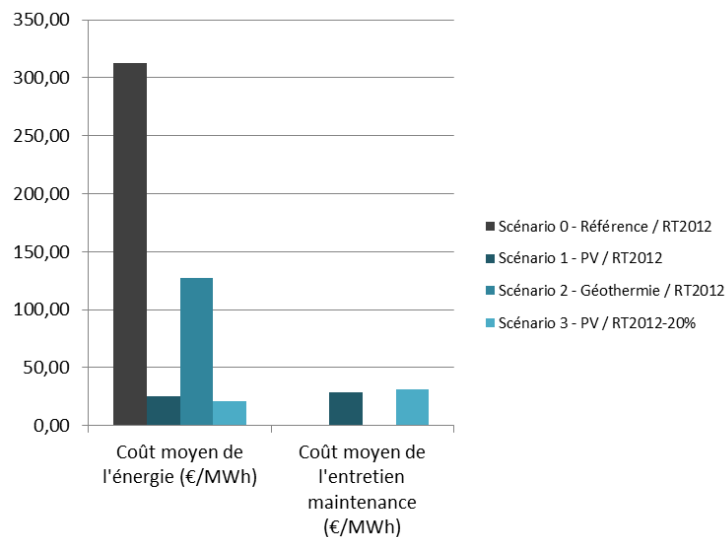


FIGURE 47 COMPARAISON DES COUTS A L'EXPLOITATION - ELECTRICITE

Comparaison environnementale

	Taux EnR (%)	Consommation EP (MWhEP/an)	Ratio EP/EF (%)	Emissions GES (T eq CO2/an)
Scénario 0 - Référence / RT2012	14%	3 016	315%	172
Scénario 1 - PV / RT2012	100%	788	63%	45
Scénario 2 - Géothermie / RT2012	14%	3 016	315%	172
Scénario 3 - PV / RT2012-20%	100%	788	63%	45

FIGURE 48 COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE DES SCENARIOS – ELECTRICITE

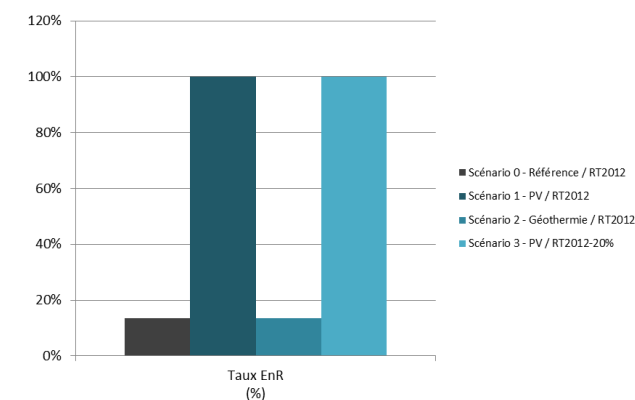


FIGURE 49 TAUX ENR – ELECTRICITE

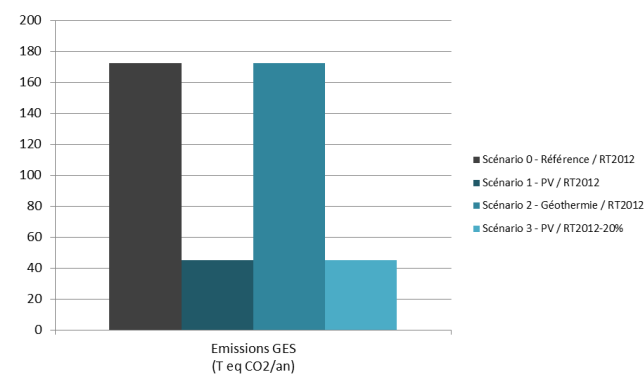


FIGURE 50 EMISSIONS DE GES- ELECTRICITE

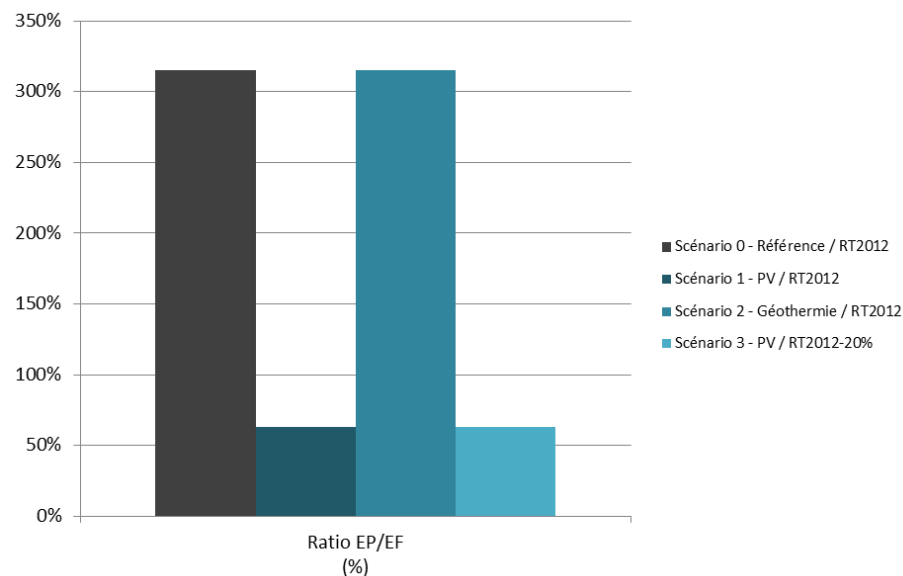


FIGURE 51 RATIO EP/EF – ELECTRICITE

Deux alternatives ont été étudiées pour la couverture des besoins en électricité : le raccordement au réseau et l'installation de panneaux photovoltaïque permettant de couvrir 100 % des besoins en électricité du projet, correspondant à l'installation de panneaux sur environ 50 % des toitures. Le temps de retour sur investissement d'une solution PV est d'environ 20 ans. Cette alternative présente cependant un surcoût important par rapport à un simple raccordement sur le réseau Enedis. Cependant, les besoins en électricité étant les besoins les plus importants du projet, la production d'électricité solaire permet une réduction importante de l'impact environnemental du projet, avec une **réduction des gaz à effets de serre de plus de 25 %**.

Des marges de manœuvre existent pour **limiter le coût des installations photovoltaïque**. Il est possible dans un premier temps de limiter le surcoût par l'installation d'une surface plus restreinte. Le montage opérationnel mis

en œuvre pour le déploiement du photovoltaïque dans le projet est également une piste d'optimisation des coûts à envisager. En effet, faire appel à un investisseur externe, investissant dans une partie du matériel photovoltaïque et louant la toiture peut être un levier pour réduire les coûts d'investissement.

Global

Comparaison économique

	Investissement (€)	Coût moyen de l'énergie (€/MWh)	Coût moyen de l'entretien maintenance (€/MWh)	Temps de retour (années)
Scénario 0 - Référence / RT2012	141500,00	256,13	5,21	0,00
Scénario 1 - PV / RT2012	2407830,00	63,13	24,20	17,00
Scénario 2 - Géothermie / RT2012	537540,00	93,29	2,89	24,00
Scénario 3 - PV / RT2012-20%	2334375,00	54,50	26,83	17,00

FIGURE 52 COMPARAISON ECONOMIQUE DES SCENARIOS – GLOBAL

Parmi les 4 alternatives étudiées, les deux alternatives relevant de l'investissement le plus important sont les Scénarios 1 et 2, mettant en œuvre des panneaux solaires photovoltaïques.

Le scénario exploitant la géothermie comme source d'énergie renouvelable relève du scénario présentant un temps de retour sur investissement le plus important. Ceci est principalement dû à la faible part de besoin en froid couvert par ce dispositif.

La mise en œuvre de la géothermie ne relève pas d'une orientation à favoriser, de par les contraintes techniques engendrées : regroupement nécessaires des bâtiments et utilisateurs autour de ce même système de production, contraintes sur le phasage du projet, appoint gaz et groupe froid nécessaire.

Les besoins en électricité, relevant de la part des besoins les plus importants sur le projet Ainsi, la mise en œuvre d'une solution d'énergie renouvelable pouvant couvrir une part de ces besoins, tel le photovoltaïque semble une orientation à favoriser. En effet, le temps de retour sur investissement d'une telle alternative s'élève à 17 ans, et **l'investissement peut être réduit, par la mise en œuvre d'un partenariat avec un exploitant privé, locataire de la toiture.**

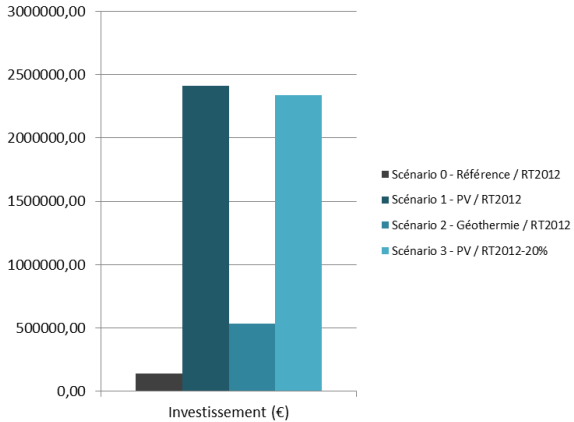


FIGURE 53 COMPARAISON DES MONTANTS D'INVESTISSEMENTS – GLOBAL

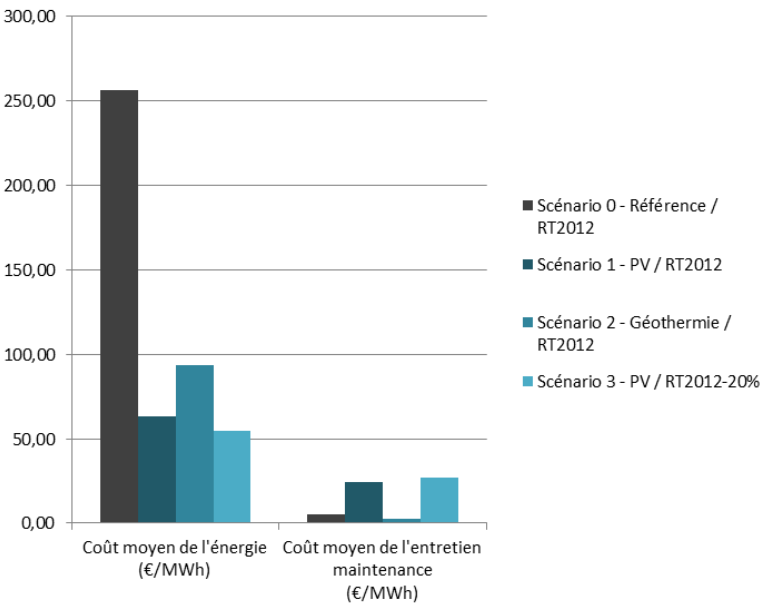


FIGURE 54 COMPARAISON DES COUTS A L'EXPLOITATION - GLOBAL

Comparaison environnementale

	Taux EnR (%)	Consommation EP (MWhEP/an)	Ratio EP/EF (%)	Emissions GES (T eq CO2/an)
Scénario 0 - Référence / RT2012	23%	3 926	258%	224
Scénario 1 - PV / RT2012	70%	1 520	100%	144
Scénario 2 - Géothermie / RT2012	34%	3 475	229%	213
Scénario 3 - PV / RT2012-20%	66%	1 075	79%	96

FIGURE 55 COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE DES SCENARIOS – GLOBAL

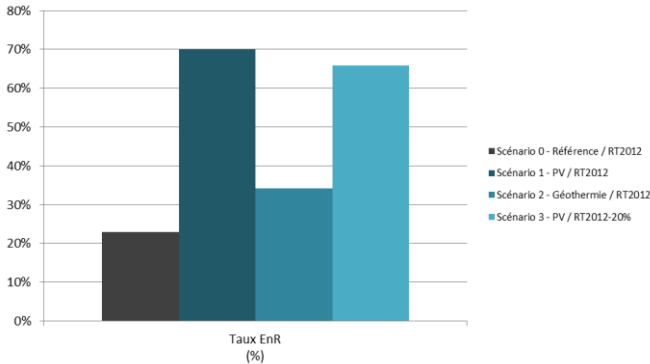


FIGURE 56 TAUX ENR – GLOBAL

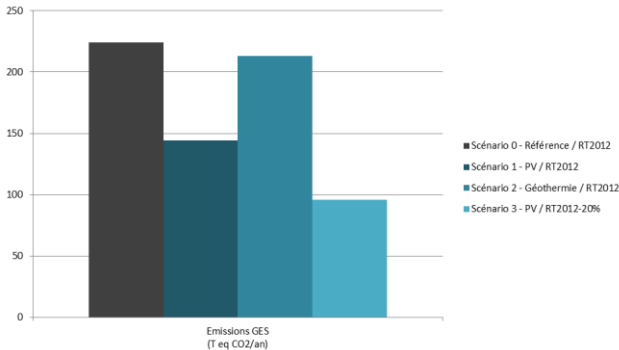


FIGURE 57 EMISSIONS DE GES- GLOBAL

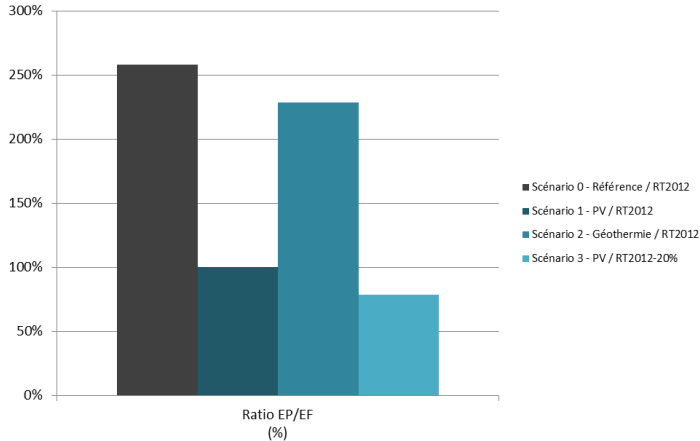


FIGURE 58 RATIO EP/EF – GLOBAL

Concernant les indicateurs environnementaux, la mise en œuvre de panneaux photovoltaïque permet d’atteindre un taux d’ENR le plus important, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre de plus de 50 % dans le cas d’une construction atteignant un niveau énergétique RT2012-20% comparativement au scénario 2 et à la mise en œuvre d’une solution géothermique. **C’est la solution la plus performante sur le plan environnemental.**

Ainsi, l’atteinte d’un niveau énergétique plus ambitieux que la réglementation (RT2012-20 %, dans le cas du scénario 3) permet d’une part de **réduire les besoins énergétiques** (chauffage) des constructions, engendrant des **économies en exploitation** et d’autre part un dimensionnement plus réduit des équipements techniques, engendrant un **investissement moins élevés** également.

Le scénario 3 présente une réduction du coût d’investissement d’environ 3% comparativement au scénario 2. Cependant, l’atteinte d’un niveau RT2012-20 % peut engendrer un coût constructif en hausse comparativement à une construction respectant les niveaux énergétiques RT2012.

5. EXTRACTION DE L'ENSEMBLE DES RESULTATS

5.1. Scénario de référence

Description du scénario

Les systèmes techniques sont dédiés à chaque bâtiment. Une pompe à chaleur air/air réversible permet de satisfaire les besoins de chauffage et les éventuels besoins de climatisation. Les quelques besoins d'ECS sont couverts par des ballons électriques, et l'ensemble des consommations électriques sont couvertes par le réseau électrique national.

Chaleur

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	88 000
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	88 000
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	137,90
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	10,44
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	2,30
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	6
Coût moyen de la chaleur (€ TTC/MWh)	363

FIGURE 59 BILAN ECONOMIQUE CHALEUR - SCENARIO DE REFERENCE

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	533
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	169
Part d'EnR sur le bilan global	62%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	1,39
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	30,44
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,15
Émissions de NOx (t/an)	0,08
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	8,46
Déchets nucléaires HA (kg/an)	1,69

FIGURE 60 BILAN ENVIRONNEMENTAL CHALEUR - SCENARIO DE REFERENCE

Froid

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	53 500
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	53 500
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	208,27
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	13,91
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	2,98
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	2
Coût moyen de la chaleur (€ TTC/MWh)	356

FIGURE 61 BILAN ECONOMIQUE FROID - SCENARIO DE REFERENCE

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	377
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	120
Part d'EnR sur le bilan global	42%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	2,10
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	21,56
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,11
Émissions de NOx (t/an)	0,06
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	5,99
Déchets nucléaires HA (kg/an)	1,20

FIGURE 62 BILAN ENVIRONNEMENTAL FROID - SCENARIO DE REFERENCE

Electricité

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	0
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	0
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	312,42
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	0,00
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	0,00
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	0
Coût moyen de la chaleur (€ TTC/MWh)	312

FIGURE 63 BILAN ECONOMIQUE ELECTRICITE - SCENARIO DE REFERENCE

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	3 016
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	957
Part d'EnR sur le bilan global	14%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	3,15
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	172,34
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,85
Émissions de NOx (t/an)	0,45
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	47,87
Déchets nucléaires HA (kg/an)	9,57

FIGURE 64 BILAN ECONOMIQUE ELECTRICITE - SCENARIO DE REFERENCE

Synthèse globale scénario de référence

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	141 500
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	141 500
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	256
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	4
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	1

FIGURE 65 BILAN ECONOMIQUE GLOBAL - SCENARIO DE REFERENCE

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	3 926
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	1 246
Part d'EnR sur le bilan global	23%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	258%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	224
Émissions de SO ₂ (t/an)	1
Émissions de NOx (t/an)	1
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	62
Déchets nucléaires HA (kg/an)	12

FIGURE 66 BILAN ENVIRONNEMENTAL GLOBAL - SCENARIO DE REFERENCE

5.2. Scénario 1 : Solaire photovoltaïque

Description du scénario

Ce scénario est le même que le scénario de référence. Cependant, les toitures sont valorisées pour installer du solaire photovoltaïque.

L'hypothèse est prise de couvrir 100 % des besoins en électricité, par une couverture d'environ 50 % des toitures.

Chaleur

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	21 600
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	21 600
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	113,66
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	3,13
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	0,56
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	0
Coût moyen de la chaleur (€ TTC/MWh)	127

FIGURE 67 BILAN ECONOMIQUE CHALEUR - SCENARIO 1

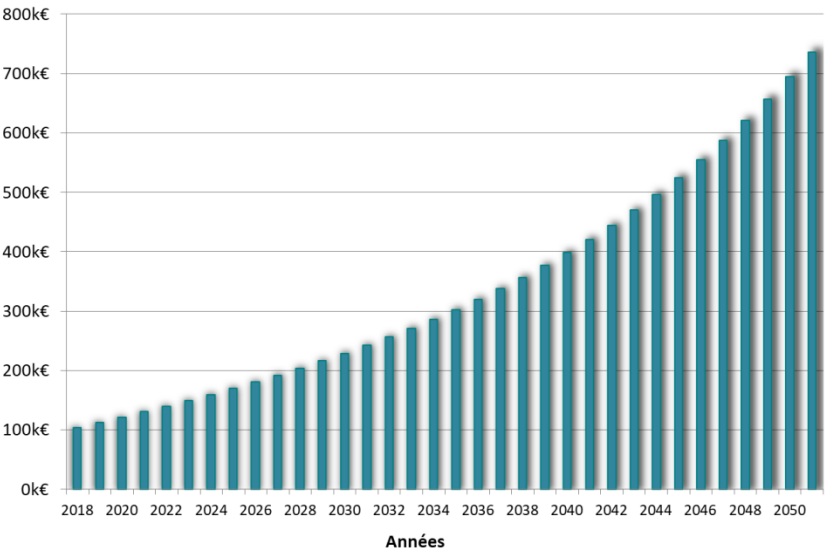


FIGURE 69 VALEUR ACTUELLE NETTE CHALEUR - SCENARIO 1

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	449
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	361
Part d'EnR sur le bilan global	1%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	1,17
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	83,08
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,02
Émissions de NOx (t/an)	0,07
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	1,28
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0,26

FIGURE 70 BILAN ENVIRONNEMENTAL CHALEUR - SCENARIO 1

Froid

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	170 280
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	170 280
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	156,19
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	35,62
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	9,48
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	34
Coût moyen de la chaleur (€ TTC/MWh)	481

FIGURE 71 BILAN ENVIRONNEMENTAL FROID - SCENARIO 1

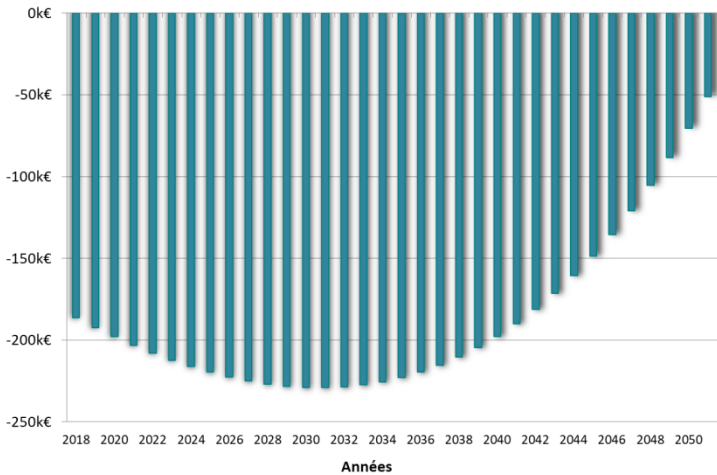


FIGURE 72 VALEUR ACTUELLE NETTE FROID - SCENARIO 1

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	283
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	90
Part d'EnR sur le bilan global	57%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	1,58
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	16,17
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,08
Émissions de NOx (t/an)	0,04
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	4,49
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0,90

FIGURE 73 BILAN ENVIRONNEMENTAL FROID – SCENARIO 1

Electricité

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	2 215 950
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	2 215 950
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	25,44
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	10,77
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	17,72

FIGURE 74 BILAN ECONOMIQUE ELECTRICITE – SCENARIO 1

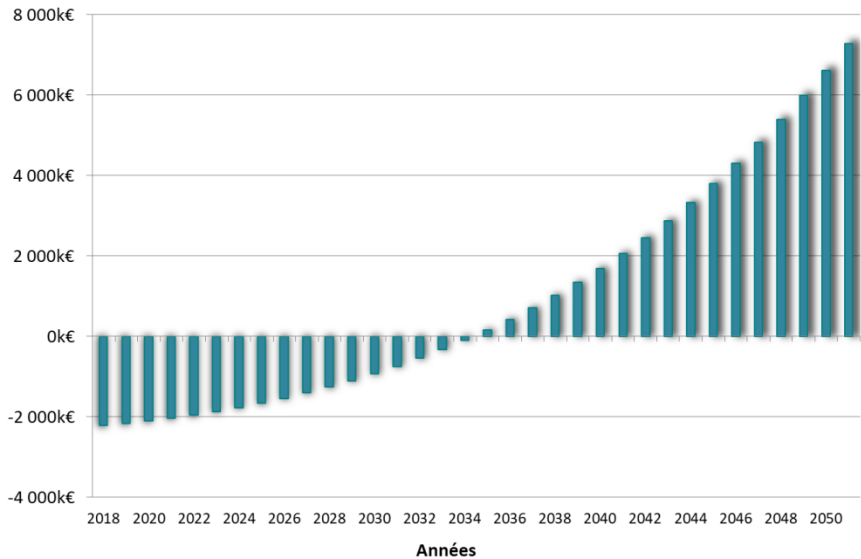


FIGURE 75 VALEUR ACTUELLE NETTE ELECTRICITE – SCENARIO 1

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	788
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	957
Part d'EnR sur le bilan global	100%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	0,63
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	45,02
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,22
Émissions de NOx (t/an)	0,12
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	12,51
Déchets nucléaires HA (kg/an)	2,50

FIGURE 76 BILAN ENVIRONNEMENTAL ELECTRICITE – SCENARIO 1

Global

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	2 407 830
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	2 407 830
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	63
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	12
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	12

FIGURE 77 BILAN ECONOMIQUE GLOBAL - SCENARIO 1

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	1 520
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	1 408
Part d'EnR sur le bilan global	70%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	100%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	144
Émissions de SO ₂ (t/an)	0
Émissions de NOx (t/an)	0
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	18
Déchets nucléaires HA (kg/an)	4

FIGURE 78 BILAN ENVIRONNEMENTAL GLOBAL - SCENARIO 1

5.3. Scénario 2 : Géothermie sur nappe

Description du scénario

Un doublet géothermique qui puise l’eau de la nappe superficielle alimente des PAC eau/eau qui assurent, avec un appoint par des chaudières gaz, la couverture des besoins de chauffage et d’ECS. Ces PAC alimente des regroupements de bâtiments, afin de mutualiser les coûts d’investissement et de limiter le nombre de forages sur la nappe. Les PAC permettent de couvrir également les besoins de froids des bâtiments.

Tout comme pour le scénario de référence, l’électricité est couverte à 100 % par le réseau électrique.

Chaleur

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	108 893
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	108 893
Coût de l’énergie moyen (€ TTC/MWh)	35,54
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	2,35
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	1,42

FIGURE 79 BILAN ECONOMIQUE CHALEUR – SCENARIO 2

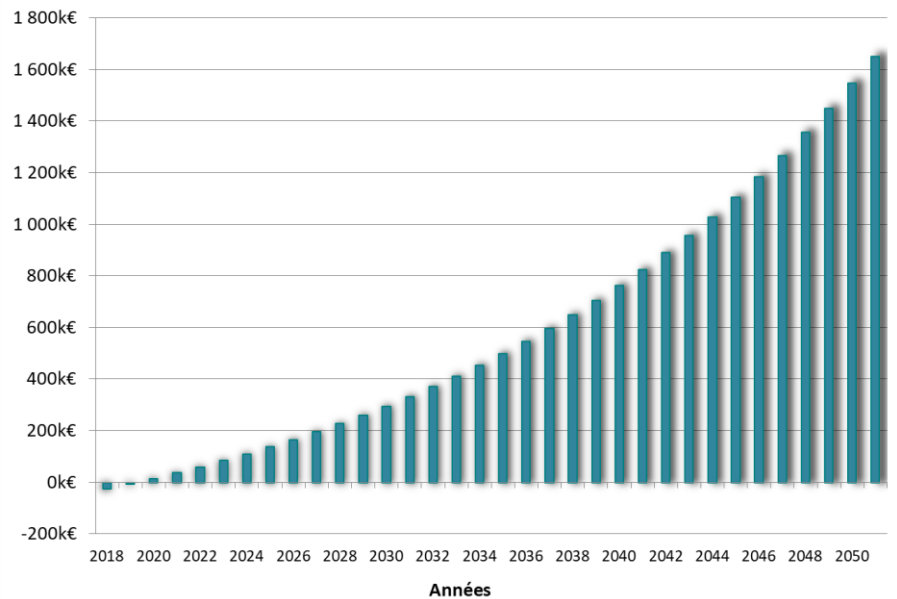


FIGURE 80 VARIATION NETTE CHALEUR - SCENARIO 2

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	277
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	143
Part d'EnR sur le bilan global	67%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	0,72
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	30,22
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,05
Émissions de NOx (t/an)	0,04
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	2,93
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0,59

FIGURE 81 BILAN ENVIRONNEMENTAL CHAUD - SCENARIO 2

Froid

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	428 648
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	428 648
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	35,62
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	4,45
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	11,93
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	24
Coût moyen de la chaleur (€ TTC/MWh)	383

FIGURE 82 BILAN ECONOMIQUE FROID – SCENARIO 2

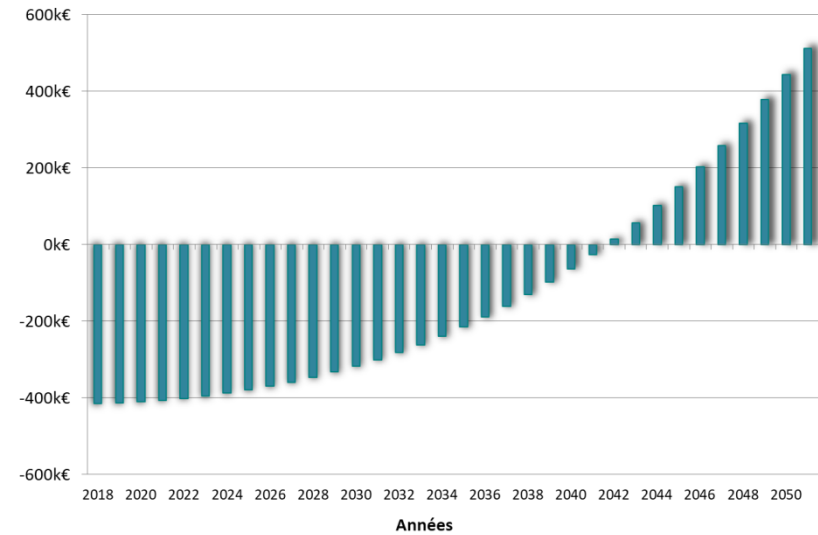


FIGURE 83 VALEUR ACTUELLE NETTE FROID – SCENARIO 2

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	182
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	58
Part d'EnR sur le bilan global	74%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	1,01
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	10,40
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,05
Émissions de NOx (t/an)	0,03
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	2,89
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0,58

FIGURE 84 BILAN ENVIRONNEMENTAL FROID - SCENARIO 2

Electricité

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	0
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	0
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	127,22
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	0,00
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	0,00

FIGURE 85 BILAN ECONOMIQUE ELECTRICITE - SCENARIO 2

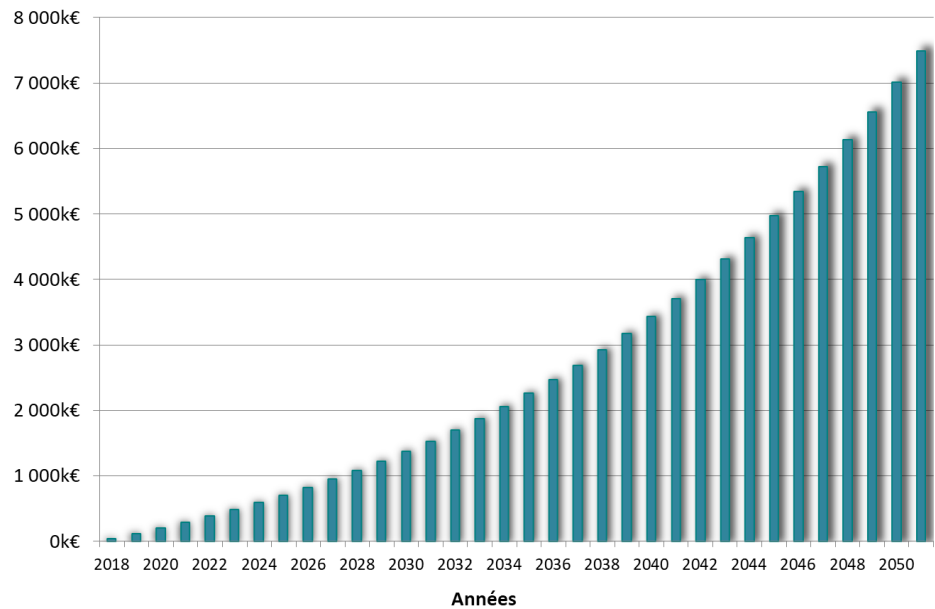


FIGURE 86 VALEUR ACTUELLE NETTE ELECTRICITE – SCENARIO 2

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	3 016
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	957
Part d'EnR sur le bilan global	14%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	3,15
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	172,34
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,85
Émissions de NOx (t/an)	0,45
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	47,87
Déchets nucléaires HA (kg/an)	9,57

FIGURE 87 BILAN ENVIRONNEMENTAL ELECTRICITE - SCENARIO 2

Global

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	537 540
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	537 540
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	93,29
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	1,12
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	1,77

FIGURE 88 BILAN ECONOMIQUE GLOBAL - SCENARIO 2

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	3 475
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	1 158
Part d'EnR sur le bilan global	34%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	229%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	213
Émissions de SO ₂ (t/an)	1
Émissions de NOx (t/an)	1
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	54
Déchets nucléaires HA (kg/an)	11

FIGURE 89 BILAN ENVIRONNEMENTAL GLOBAL - SCENARIO 2

5.4. Scénario 3 : Solaire photovoltaïque et sobriété

Description du scénario

Ce scénario est identique au scénario 2 solaire photovoltaïque L'hypothèse est prise de couvrir 100 % des besoins en électricité, par une couverture d'environ 50 % des toitures.

Cependant, les performances thermiques des bâtiments sont considérées comme atteignant un niveau énergétique RT2012-20%. Les besoins en chauffage sont donc réduits dans ce scénario. Les systèmes techniques utilisés, similaires au scénario 2 sont les suivants : chaudières gaz, et ballon d'ECS électrique.

Chaleur

Analyse économique

Investissement total (€ TTC)	12 000
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	12 000
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	122,38
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	2,50
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	0,50

FIGURE 90 BILAN ECONOMIQUE CHAUD – SCENARIO 3

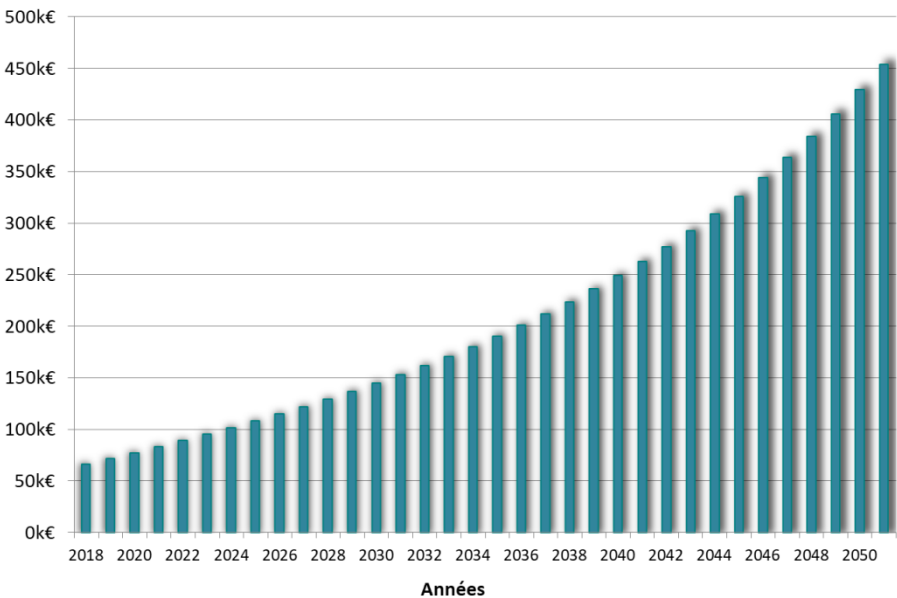


FIGURE 91 VALEUR ACTUELLE NETTE CHAUD – SCENARIO 3

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	302
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	227
Part d'EnR sur le bilan global	2%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	1,26
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	51,69
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,02
Émissions de NOx (t/an)	0,05
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	1,28
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0,26

FIGURE 92 BILAN ENVIRONNEMENTAL CHAUD – SCENARIO 3

Froid

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	106 425
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	106 425
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	156,18
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	37,11
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	9,87

FIGURE 93 BILAN ECONOMIQUE FROID— SCENARIO 3

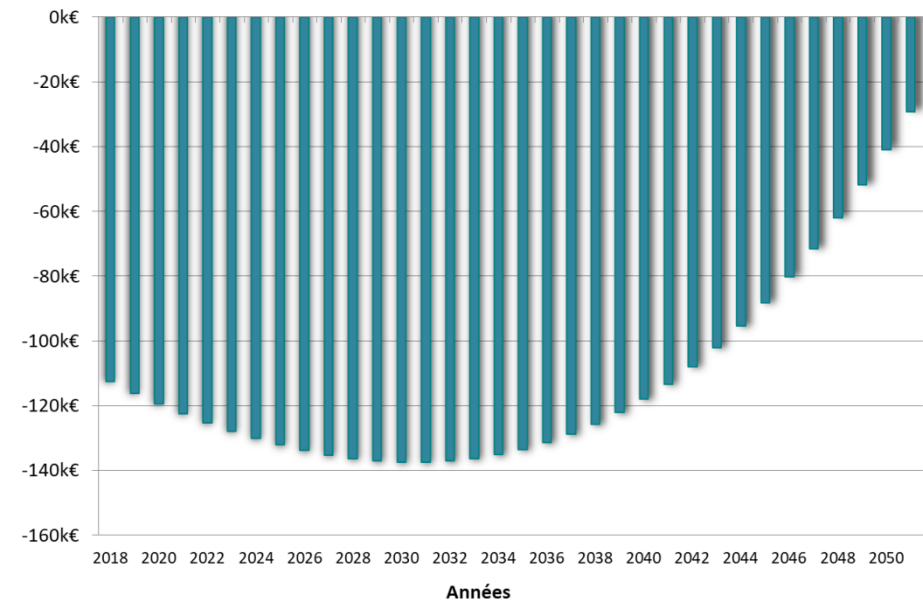


FIGURE 94 VALEUR ACTUELLE NETTE FROID – SCENARIO 3

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	170
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	54
Part d'EnR sur le bilan global	57%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	1,58
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	9,70
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,05
Émissions de NOx (t/an)	0,03
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	2,69
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0,54

FIGURE 95 BILAN ENVIRONNEMENTAL FROID – SCENARIO 3

Electricité

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	2 215 950
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	2 215 950
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	25,44
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	10,77
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	17,72

FIGURE 96 BILAN ECONOMIQUE ELECTRICITE – SCENARIO 3

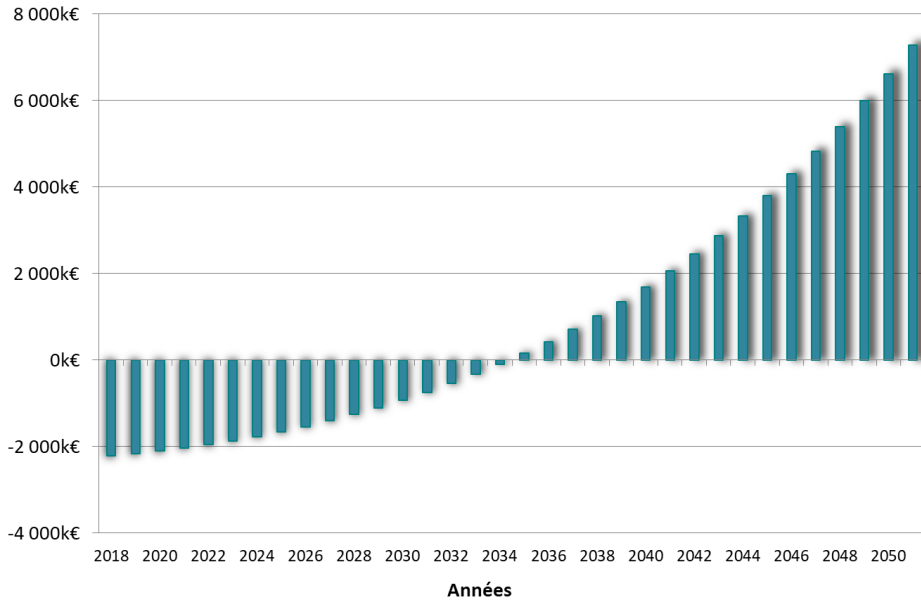


FIGURE 97 VALEUR ACTUELLE NETTE ELECTRICITE – SCENARIO 3

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	788
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	957
Part d'EnR sur le bilan global	100%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	0,63
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	45,02
Émissions de SO ₂ (t/an)	0,22
Émissions de NOx (t/an)	0,12
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	12,51
Déchets nucléaires HA (kg/an)	2,50

FIGURE 98 BILAN ENVIRONNEMENTAL - SCENARIO 3

Global

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	2 334 375
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	2 334 375
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	57
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	12
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	13
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	0
Coût moyen de la chaleur (€ TTC/MWh)	133

FIGURE 99 BILAN ECONOMIQUE GLOBAL - SCENARIO 3

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	1 260
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	1 238
Part d'EnR sur le bilan global	76%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	92%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	106
Émissions de SO ₂ (t/an)	0
Émissions de NOx (t/an)	0
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	16
Déchets nucléaires HA (kg/an)	3

FIGURE 100 BILAN ENVIRONNEMENTAL GLOBAL - SCENARIO 3

6. ANNEXES

6.1. Table des figures

Figure 1 Localisation du projet - IDF	3
Figure 2 Localisation du projet - googleMap	3
Figure 3 Répartition du mix énergétique français en 2012	4
Figure 4 Estimations des besoins d'énergie scénario de base - Vizea.....	7
Figure 5 Estimations des besoins d'énergie scénario volontariste - Vizea	7
Figure 6 Comparaison des besoins énergétiques selon la performance et les ambitions des scénarii - Vizea	7
Figure 7 Estimations des besoins d'énergie scénario exemplaire - Vizea	7
Figure 8 Rose des vents à la station de Trappes - MétéoFrance.....	9
Figure 9 Températures et pluviométrie moyennes 1981-2010 à la station de Trappes - Météo France	9
Figure 10 Localisation des gisements de chaleur fatale du site PSA - Engie (2017).....	10
Figure 11 Synthèse géothermie - Vizea	11
Figure 12 Potentiel de l'aquifère - BRGM.....	12
Figure 13 Etat initial à T0 de la température de l'eau du Dogger et état à l'année 2010 : évolution des "bulles froides". - BRGM	12
Figure 14 Caractéristique de l'Eocène moyen et inférieur (IDF) - Geothermie-Perspective	14
Figure 15 Caractéristique de la nappe de l'éocène moyen et inférieur - Geothermie perspectives	14
Figure 16 Principe de fonctionnement de la récupération de chaleur sur eaux grises (verticale)	16
Figure 17 Schéma du système de récupération de chaleur du centre aquatique de Levallois-Perret.....	17
Figure 18 Exemple de système de récupération d'énergie sur groupe froid - Ridel Energie	18
Figure 19 Synthèse pour la récupération d'énergie sur groupe froid	18
Figure 20 Principe d'une chaufferie bois	19

Figure 21 Dimensionnement de la puissance d'une chaudière bois	19
Figure 22 Carte de l'ensoleillement annuel - Meteo-Express.....	21
Figure 23 Irradiation solaire cumulée (kWh/m ²) – Cal-Spol)	21
Figure 24 Schéma d'implantation en revente de l'électricité.....	22
Figure 25 Schéma de principe du solaire hybride.....	23
Figure 26 Zones favorables à l'implantation d'éoliennes - SRE IDF(2012).....	24
Figure 27 Scénarios d'approvisionnement étudiés.....	26
Figure 28 Hypothèses économiques - Coûts des énergies	27
Figure 29 Hypothèses économiques - Indicateurs environnementaux	27
Figure 30 Tarif de rachat de l'électricité photovoltaïque - les-energies-renouvelables.eu	27
Figure 31 Comparaison économique des scénarios – Chaleur	29
Figure 32 Comparaison des montants d'investissements – Chaleur	29
Figure 33 Comparaison des coûts à l'exploitation - Chaleur	29
Figure 34 Comparaison environnementale des scénarios – Chaleur	30
Figure 35 Taux EnR - Chaleur	30
Figure 36 Emissions de GES- Chaleur	30
Figure 37 Ratio EP/EF - Chaleur	30
Figure 38 Comparaison économique des scénarios – Froid	31
Figure 39 Comparaison des montants d'investissements – Froid	31
Figure 40 Comparaison des coûts à l'exploitation - Froid	31
Figure 41 Comparaison environnementale des scénarios – Froid.....	32
Figure 42 Taux EnR – Froid.....	32
Figure 43 Emissions de GES- Froid	32
Figure 44 Ratio EP/EF – Froid.....	32
Figure 45 Comparaison économique des scénarios – Electricité	33
Figure 46 Comparaison des montants d'investissements – Electricité	34
Figure 47 Comparaison des coûts à l'exploitation - Electricité.....	34
Figure 48 Comparaison environnementale des scénarios – Electricité	34
Figure 49 Taux EnR – Electricité.....	34
Figure 50 Emissions de GES- Electricité	34
Figure 51 Ratio EP/EF – Electricité	35
Figure 52 Comparaison économique des scénarios – Global	36
Figure 53 Comparaison des montants d'investissements – Global	36

Figure 54 Comparaison des coûts à l'exploitation - Global	36	Figure 88 Bilan environnemental Electricité - Scenario 2	48
Figure 55 Comparaison environnementale des scénarios – Global	37	Figure 89 Bilan économique global - Scenario 2	48
Figure 56 Taux EnR – Global	37	Figure 90 Valeur actuelle nette global – Scénario 2 Erreur ! Signet non défini.	
Figure 57 Emissions de GES- Global	37	Figure 91 Bilan environnemental global - Scénario 2	48
Figure 58 Ratio EP/EF – Global	37	Figure 92 Bilan économique Chaud – Scénario 3	49
Figure 59 Bilan économique chaleur - Scenario de Référence.....	38	Figure 93 Valeur actuelle nette Chaud – Scénario 3.....	49
Figure 60 Bilan environnemental chaleur - Scénario de référence.....	38	Figure 94 Bilan environnemental Chaud – Scénario 3.....	50
Figure 61 Bilan économique froid - Scénario de référence.....	39	Figure 95 Bilan économique Froid– Scénario 3	50
Figure 62 Bilan environnemental froid - Scénario de référence	39	Figure 96 Valeur actuelle nette Froid – Scénario 3.....	50
Figure 63 Bilan économique électricité - scénario de référence.....	39	Figure 97 Bilan environnemental Froid – Scénario 3.....	51
Figure 64 Bilan économique électricité - scénario de référence.....	39	Figure 98 Bilan économique Electricité – Scénario 3.....	51
Figure 65 Bilan économique global - Scénario de référence.....	40	Figure 99 Valeur actuelle nette Electricité – Scénario 3.....	51
Figure 66 Bilan environnemental global - Scénario de référence	40	Figure 100 Bilan environnemental - Scénario 3.....	52
Figure 67 Bilan économique chaleur - Scenario 1	41	Figure 101 Bilan économique global - Scenario 3.....	52
Figure 68	41	Figure 102 Valeur actuelle nette global – Scénario 3 Erreur ! Signet non défini.	
Figure 69 Valeur actuelle nette chaleur - Scénario 1	41	Figure 103 Bilan environnemental global - Scénario 3	52
Figure 70 Bilan environnemental chaleur - Scénario 1	42		
Figure 71 Bilan environnemental Froid - Scénario 1	42		
Figure 72 Valeur actuelle nette Froid - Scénario 1	42		
Figure 73 Bilan environnemental Froid – Scénario 1	43		
Figure 74 Bilan économique électricité – Scénario 1	43		
Figure 75 Valeur actuelle nette électricité – Scénario 1.....	43		
Figure 76 Bilan environnemental Electricité – Scénario 1.....	44		
Figure 77 Bilan économique global - Scenario 1	44		
Figure 78 Variation nette globale - Scénario 1	Erreur ! Signet non défini.		
Figure 79 Bilan environnemental global - Scénario 1.....	44		
Figure 80 Bilan économique chaleur – Scénario 2	45		
Figure 81 Variation nette chaleur - Scénario 2.....	45		
Figure 82 Bilan environnemental Chaud - Scenario 2	46		
Figure 83 Bilan économique Froid – Scenario 2	46		
Figure 84 Valeur actuelle nette Froid – Scénario 2	46		
Figure 85 Bilan environnemental Froid - Scenario 2	47		
Figure 86 Bilan économique Electricité - Scenario 2	47		
Figure 87 Valeur actuelle nette Electricité – Scénario 2.....	47		