



19.12.2022

# Assistance à Maitrise d'Ouvrage pour la Stratégie énergétique du parc Astérix

Version 3 – Décembre 2022

MAÎTRE D'OUVRAGE

PARC ASTERIX  
60128 Plailly





## Table des matières

<b>1. CONTEXTE ET ENJEU DE LA MISSION .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Contexte : .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Historique des consommations électriques.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Etat des lieux et préconisations .....</b>	<b>5</b>
<b>2. ETUDES D'OPPORTUNITE.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Etude d'opportunité création d'un réseau de chaleur géothermique.....</b>	<b>7</b>
2.1.1 Simulations avec les différents prospects.....	10
2.1.2 Synthèse énergétique .....	11
2.1.3 Charges d'exploitation et coûts de la chaleur.....	12
<b>2.2 Etude d'opportunité mise en place réseau gaz naturel .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Etude d'opportunité mise en place chaufferie biomasse .....</b>	<b>16</b>
2.3.1 Résultats de la simulation .....	16
2.3.2 Synthèse énergétique .....	18
2.3.3 Charges d'exploitation et coûts de la chaleur.....	18
2.3.4 Réserve à prendre par rapport à la solution biomasse.....	19
<b>2.4 Etude d'opportunité mise en place d'installations solaires thermiques .....</b>	<b>22</b>
2.4.1 Zones étudiées.....	22
2.4.2 Critères et contraintes .....	22
2.4.3 Production annuelle.....	23
2.4.4 Investissement et couts d'exploitation .....	26
<b>2.5 Etude d'opportunité mise en place solaire photovoltaïque .....</b>	<b>27</b>
2.5.1 Zones étudiées.....	27
2.5.2 Critères et contraintes .....	27
2.5.3 Résultats .....	28
2.5.4 Etude économique.....	32
<b>3. CONCLUSION.....</b>	<b>34</b>



# 1. CONTEXTE ET ENJEU DE LA MISSION

## 1.1 Contexte :

En application de la loi de 2019 – Code de l’environnement – le Parc Astérix doit présenter une étude d’impact globale sur les évolutions du parc à horizon de 10 ans, qui doit notamment intégrer un volet sur l’énergie.

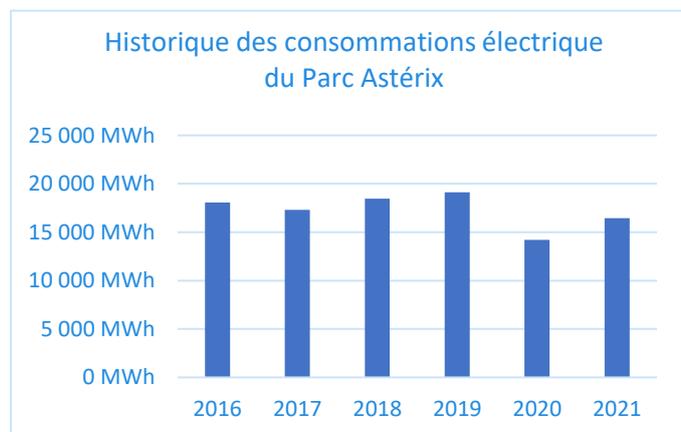
Dans ce contexte et dans le cadre du développement prévu par le parc ASTERIX au cours des 10 ans à venir, SERMET a été missionné pour étudier une stratégie énergétique du parc ainsi que la pertinence de la mise en place nouvelles sources de production d’énergie.

## 1.2 Historique des consommations électriques

Le parc Astérix fonctionne actuellement avec des alimentations 100% électrique pour l’ensemble de ces besoins (Chauffage, ECS, Ventilation, Climatisation, Auxiliaire, Attractions) à l’exception d’une petite chaudière fioul alimentant un bâtiment.

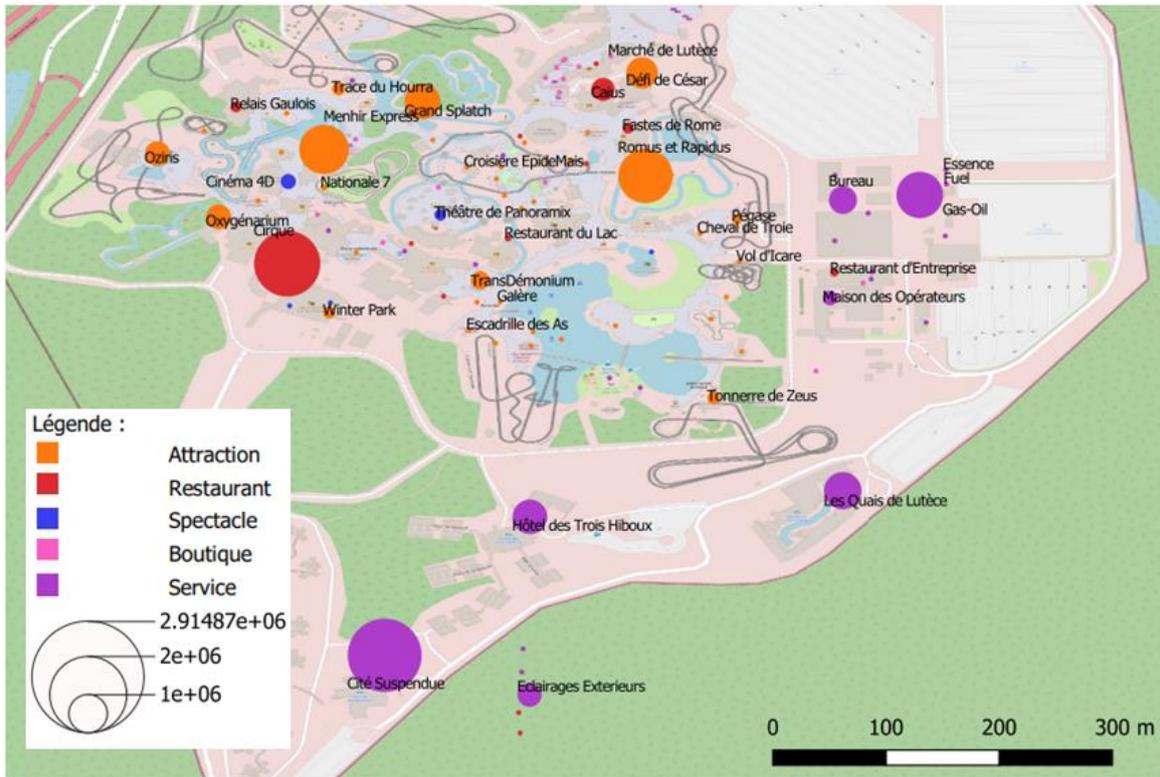
L’historique des consommations électriques du parc est présenté ci-dessous :

Année	Consommations
2016	18 076 768 kWh
2017	17 318 891 kWh
2018	18 456 142 kWh
2019	19 105 700 kWh
2020	14 193 793 kWh
2021	16 445 993 kWh

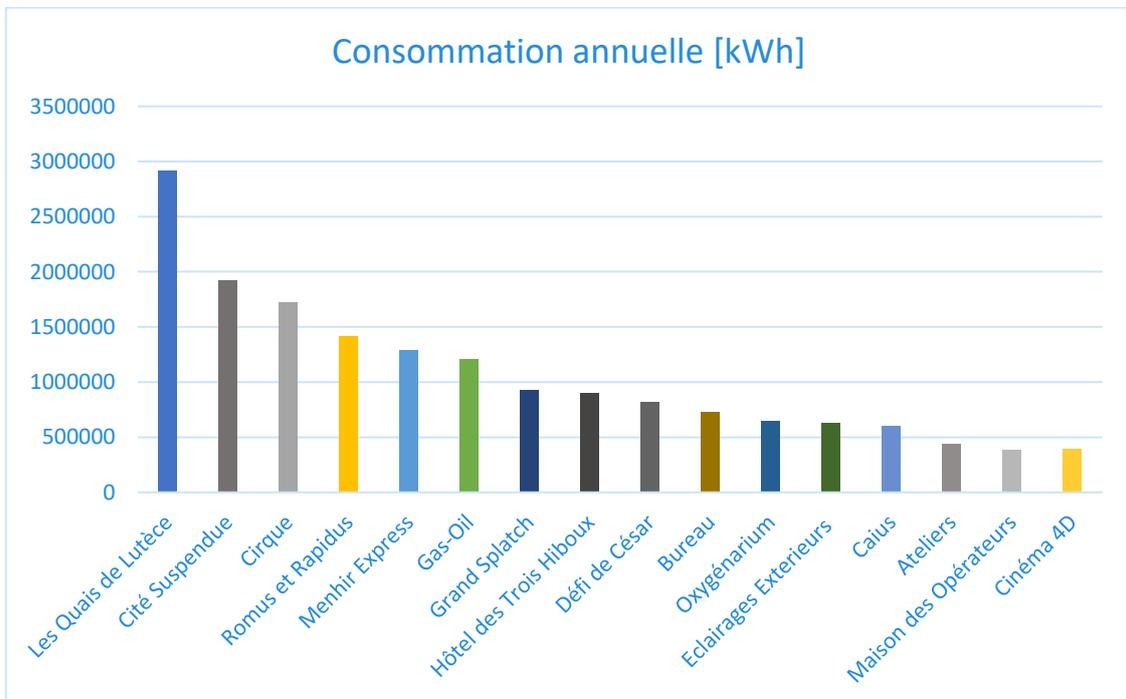


Pour notre étude, nous nous sommes basés sur la moyenne des consommations de 2016, 2017, 2018 et 2019 étant donné la fermeture du parc lié à la crise sanitaire du COVID en 2020 et 2021. La consommation moyenne est donc actuellement d’environ 19 000 MWh électrique par an.

En se basant sur les estimations de consommations fournies par le Parc Astérix, nous avons cherché à déterminer les sites les plus énergivores. Pour cela nous avons réalisé une cartographie des consommations par site via QGIS, représenté sur le graphique suivant :



Après avoir trié et comparé les estimations des consommations de tous les sites, nous avons identifiés les postes les plus énergivores représentés sur le graphique ci-dessous :



Néanmoins, plusieurs résultats ne nous paraissent pas pertinents (La Cité Suspendue étant l'Hôtel le plus récent et paraissant ici comme le plus énergivore), c'est pour cela que nous n'avons pas basé nos études sur ces estimations de consommations mais sur les consommations réelles globales du parc et sur de nouvelles estimations que nous avons réalisés pour les sites qui nous intéressaient.



## 1.3 Etat des lieux et préconisations

Afin de mettre en place une stratégie de sobriété énergétique du parc, nous avons analysé les bâtiments existants afin de lister les sites qui selon nous avaient les consommations d'énergies thermiques (Chauffage, Climatisation, et Eau Chaude Sanitaire) les plus importantes. Nous avons réalisé une visite de ces sites afin de relever toutes les éventuelles améliorations à apporter.

Le tableau suivant récapitule l'état des lieux des bâtiments visités ainsi que les préconisations relevées. Pour les hôtels, les bâtiments étant récent, il n'est pas nécessaire de réaliser de travaux de rénovation énergétique, en revanche les solutions suivantes permettraient de diminuer les consommations énergétiques :

- Mise en place de détecteur de fenêtre ouverte qui coupe la climatisation et le chauffage
- Carte à mettre en place pour mise sous tension électrique de la chambre
- Mise en place de douche plutôt que de baignoire
- Système de détection de présence pour les luminaires extérieurs

	<u>Etat des lieux</u>	<u>Préconisations</u>	<u>Total préco</u>
<u>Bureaux</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ancienne base vie de chantier, date de 1985</li> <li>• Pas d'isolation</li> <li>• VMC autoréglable</li> <li>• Rideaux d'air chaud et radiateurs non fonctionnels et anciens</li> <li>• Fenêtre cadre aluminium double vitrage 4/6/4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolet le bâtiment (ITI ou ITE) : -20%</li> <li>• VMC Hygro B : -5%</li> <li>• Remplacement des menuiseries : -10%</li> </ul>	<b>-30%</b>
<u>Bâtiment laverie et douches personnel :</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation Thermique Intérieure du bâtiment ancienne</li> <li>• Ascenseurs ne « recrachent » pas la chaleur</li> <li>• Rideaux d'air chaud et radiateurs anciens et parfois HS</li> <li>• VMC autoréglable</li> <li>• Fenêtre cadre alu double vitrage 4/6/4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ITE : -10%</li> <li>• VMC Hygro B : -7%</li> <li>• Remplacement des menuiseries : -8%</li> </ul>	<b>-22%</b>
<u>Restaurant du personnel :</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation Thermique Intérieure du bâtiment ancienne</li> <li>• VMC autoréglable</li> <li>• Rideaux d'air chaud et radiateurs anciens et parfois HS</li> <li>• Fenêtre cadre alu double vitrage 4/6/4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ITE : -10%</li> <li>• VMC Hygro B : -7%</li> <li>• Remplacement des menuiseries : -8%</li> </ul>	<b>-22%</b>
<u>Entrepôts de maintenance :</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aérothermes</li> <li>• Isolation Thermique Intérieure du bâtiment ancienne</li> <li>• Fenêtre cadre alu double vitrage 4/6/4</li> <li>• Pas de grosses consommations de chauffage</li> </ul>	Travaux de rénovation énergétique peu pertinent car peu consommateur de chaleur	<b>0%</b>
<u>Nouveaux bureaux et traiteur :</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bâtiment neuf (2021)</li> <li>• Isolation Thermique Intérieure du bâtiment importante</li> <li>• Fenêtre cadre alu double vitrage 8/16/4</li> </ul>	Travaux de rénovation énergétique peu pertinent car bâtiment neuf	<b>0%</b>
<u>Quais de Lutèce :</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bâtiment très récent (2019)</li> <li>• Chaufferie centrale électrique de production de chaleur (avec CTA)</li> <li>• Panneaux solaires pour la production d'ECS en toiture</li> </ul>	Travaux de rénovation énergétique peu pertinent car bâtiment récent	<b>0%</b>
<u>Les 3 Hiboux :</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bâtiment récent (1999-2016)</li> <li>• Fenêtre triple vitrage 4/16/4/16</li> <li>• VMC autoréglable</li> <li>• Radiateur électrique individuel</li> <li>• Ballon ECS électrique individuel</li> </ul>	Travaux de rénovation énergétique peu pertinent car bâtiment récent	<b>0%</b>
<u>La Cité Suspendue :</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bâtiment très récent (2017)</li> <li>• Lobby chauffé avec une production collective (CTA)</li> <li>• Radiateur électrique individuel</li> <li>• Ballon ECS électrique individuel</li> </ul>	Travaux de rénovation énergétique peu pertinent car bâtiment récent	<b>0%</b>
<u>Restaurant du Cirque :</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toiture toile avec déperditions importantes (ouvertures directement sur l'extérieur)</li> <li>• Rideaux d'air dans l'entrée non pertinent (portes ouvertes et sas avant d'entrée dans le restaurant)</li> <li>• Climatisation importante</li> <li>• Aérothermes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation toiture en réalisant une toiture dur avec aspect toile : -18%</li> <li>• Arrêter le fonctionnement des rideaux d'air : -3%</li> <li>• Diminuer les consignes et débit de climatisation : -3 %</li> </ul>	<b>-21%</b>



	<u>Etat des lieux</u>	<u>Préconisations</u>	<u>Total préco</u>
<b><u>Théâtre 4D :</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas d'isolation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A isoler pendant les travaux liés à la file d'attente: -10%</li> </ul>	<b>-10%</b>
<b><u>Relais Gaulois :</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiateurs électriques vétustes</li> <li>• Isolation toiture vétuste voir inexistante</li> <li>• Menuiseries vétustes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ITI : -10%</li> <li>• Isolation toiture : -5%</li> <li>• Remplacement des émetteurs : -5%</li> <li>• Remplacement des menuiseries : -5%</li> </ul>	<b>-22%</b>
<b><u>Locaux maintenance attractions (Escadrille des As, Goudurix, Vol d'Icare) :</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résistances chauffent roues des wagons pendant la nuit</li> <li>• Bâtiment ouvert donc très faible (voir aucune) isolation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ITI ou ITE : -10%</li> <li>• Mettre un système de fermeture du local : -10%</li> </ul>	<b>-18%</b>
<b><u>Magasins de l'entrée :</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas isoler</li> <li>• Menuiseries simple vitrage</li> <li>• Porte toujours ouverte avec parfois rideaux d'air à l'entrée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ITI : -10%</li> <li>• Remplacement des menuiseries : -10%</li> <li>• Mise en place SAS à l'entrée : -10%</li> </ul>	<b>-26%</b>
<b><u>Restaurant Caius :</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation toiture vétuste voir inexistante</li> <li>• Menuiseries double vitrage 4/6/4 vétustes</li> <li>• Porte toujours ouverte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ITI : -10%</li> <li>• Isolation toiture : -5%</li> <li>• Remplacement des menuiseries : -5%</li> <li>• Mise en place SAS à l'entrée : -10%</li> </ul>	<b>-26%</b>
<b><u>Fastes de Rome :</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiateurs électriques vétustes</li> <li>• Menuiseries double vitrage 4/6/4 vétustes</li> <li>• Porte toujours ouverte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ITI : -10%</li> <li>• Remplacement des émetteurs : -5%</li> <li>• Remplacement des menuiseries : -5%</li> <li>• Mise en place SAS à l'entrée : -10%</li> </ul>	<b>-26%</b>

L'ensemble de ces préconisations devrait permettre de diminuer de près de 20% les consommations globales de l'ensemble de ces sites. Des études thermiques complètes permettraient de déterminer de façon plus précises les gains énergétiques de l'ensemble de ces préconisations. Les pourcentages de réduction de consommation ont été estimés selon le retour d'expérience de SERMET sur des missions d'audit énergétique et de maîtrise d'œuvre présentant des préconisations et travaux similaires.



## 2. ETUDES D'OPPORTUNITÉ

### 2.1 Etude d'opportunité création d'un réseau de chaleur géothermique

Le parc Astérix est positionné sur une nappe, une bonne partie des bâtiments du parc ont des toitures plates et le réseau est essentiellement électrique (avec garantie d'origine), sauf le chauffage du capitole fonctionnant avec du chauffage au fioul. C'est pourquoi nous avons étudié quatre solutions d'ENR, un réseau de chaleur géothermique avec ou sans appoint de Gaz naturel, une chaufferie biomasse et la mise en place d'installations solaires photovoltaïques ou thermiques.

Ces études se sont basées sur les consommations pour 2035, qui ont été estimés à 25 000 MWh annuels.

Nous avons réalisé plusieurs simulations selon la probabilité de pouvoir ou non raccorder les bâtiments au réseau de chaleur géothermique.

Nous avons considéré les bâtiments suivants comme raccordables à un réseau de chaleur étant donné leurs besoins de chauffage et d'ECS et nous les avons classés en fonction de la probabilité de leur raccordement à un futur réseau de chaleur.

	Bâtiment	Zone	Probabilité : 1 : Fort - 2 : Moyen - 3 : Faible	Remarque
Bâtiment Existant	Cirque	Paris 20e	1	Bâtiment à rénover - Possibilité d'adapter la production
	Quais de Lutèce	Pole Hotelier	2	Production de chaleur centralisée
	Hôtel des Trois Hiboux	Pole Hotelier	3	Production de chaleur individuelle
	Cité Suspendue	Pole Hotelier	3	Production de chaleur individuelle
	Delphinarium (Théâtre d'eau)	Grece	2	Possibilité d'adapter la production de chauffe de l'eau
	Relais Gaulois	Gaule - Menhir	2	Bâtiment à rénover - Possibilité d'adapter la production
	Ciné 4D	Paris 20e	3	Production de chaleur individuelle
Projet	Bureau	Bureau	3	Production de chaleur individuelle
	Nouveau Restaurant du Lac	Quai du Lac	2	Bâtiment à rénover mais éloigné
	Grec - Service à Table	Grece	2	Bâtiment à rénover mais éloigné
	Egypte - Kebab (F&B - P'OzKebab)	Egypte	2	Bâtiment à rénover mais éloigné
	H4	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	Extension H3H	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	H5	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	Restaurant Expérientiel	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	H4 - Restaurant 1	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	H4 - Restaurant 2	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	Pôle Aquatique	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	Air de Jeu Aquatique	Gaule - Menhir	2	Attraction à construire mais éloigné
	Cantine du personnel	Gaule - Menhir	2	Attraction à construire mais éloigné
	19ème Fast Food	Paris 20e	1	Bâtiment à construire
	Family Coaster	Paris Darks	1	Bâtiment à construire
	Family Ride Interactif	Paris Darks	1	Bâtiment à construire
	Théâtre	Paris Darks	1	Bâtiment à construire
	Nouvelle Halte - Food Court	Paris Darks	1	Bâtiment à construire
	Tous en piste	Paris Darks	1	Bâtiment à construire
	Ventes Internes	Paris Darks	1	Bâtiment à construire

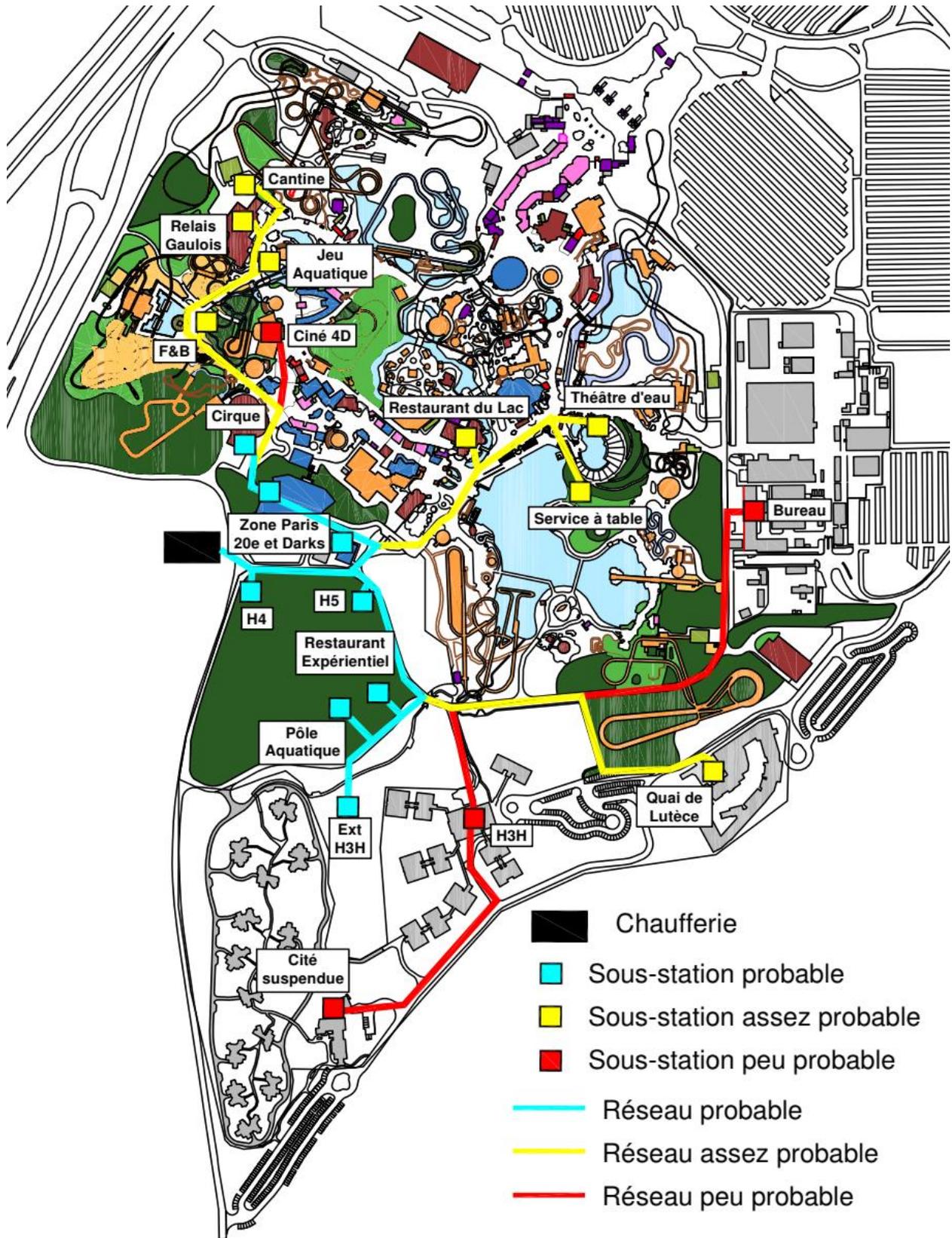
Les résultats de la note d'opportunité géothermique sous-sol présentée en annexe du présent rapport montre qu'il existe un potentiel géothermique au droit du Parc Astérix et qu'il est envisageable de



mettre en place entre 1 et 3 triplets pour obtenir de l'eau à 12,5°C dans un débit allant de 45 à 150 m<sup>3</sup>/h. Seule la réalisation d'un forage de reconnaissance et des essais pourront permettre de valider le débit et la température d'exploitation disponible. Il est fortement conseillé de recourir à la garantie AQUAPAC pour la réalisation de ce forage afin de pouvoir se faire rembourser en cas de résultat non concluant sur celui-ci.

Dès la mise en place de plus de 2 triplets géothermiques, la puissance de 500 kW géothermique est dépassé et **l'installation sort du cadre de Géothermie de Minime Importance (GMI) et un permis minier sera nécessaire.**

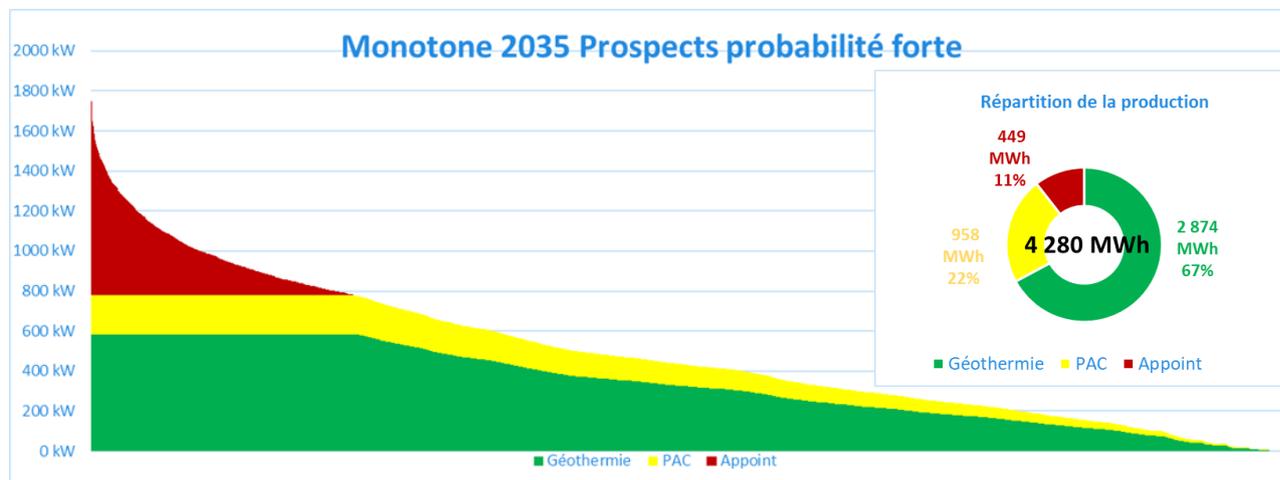
Le réseau avec l'emplacement de la chaufferie et des sous-stations, comme il a été envisagé pourrait correspondre à cela :



- Chaufferie
- Sous-station probable
- Sous-station assez probable
- Sous-station peu probable
- Réseau probable
- Réseau assez probable
- Réseau peu probable

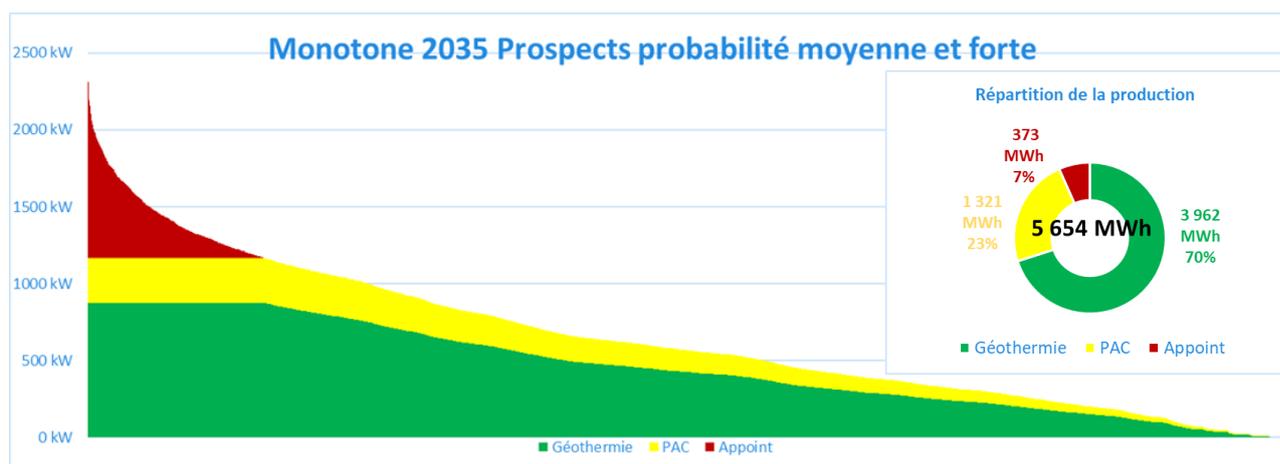
## 2.1.1 Simulations avec les différents prospects

### Simulation 1 : prospects forte probabilité 2035



Dans cette simulation il a été envisagé de raccorder uniquement les prospects à fort potentiel de raccordement. Les besoins, en 2035, seraient alors de 4 280 MWh annuel (de chauffage et ECS). La monotone ci-dessus représente les appels de puissance tout au long de l'année par ordre décroissant et montre la solution technique (géothermie, électricité de la PAC, chaudière d'appoint) permettant de répondre à ces besoins. Ces besoins nécessitent la mise en place de deux triplets géothermiques raccordés à des pompes à chaleur qui permettent de fournir 89% des besoins (dont 67% d'ENR).

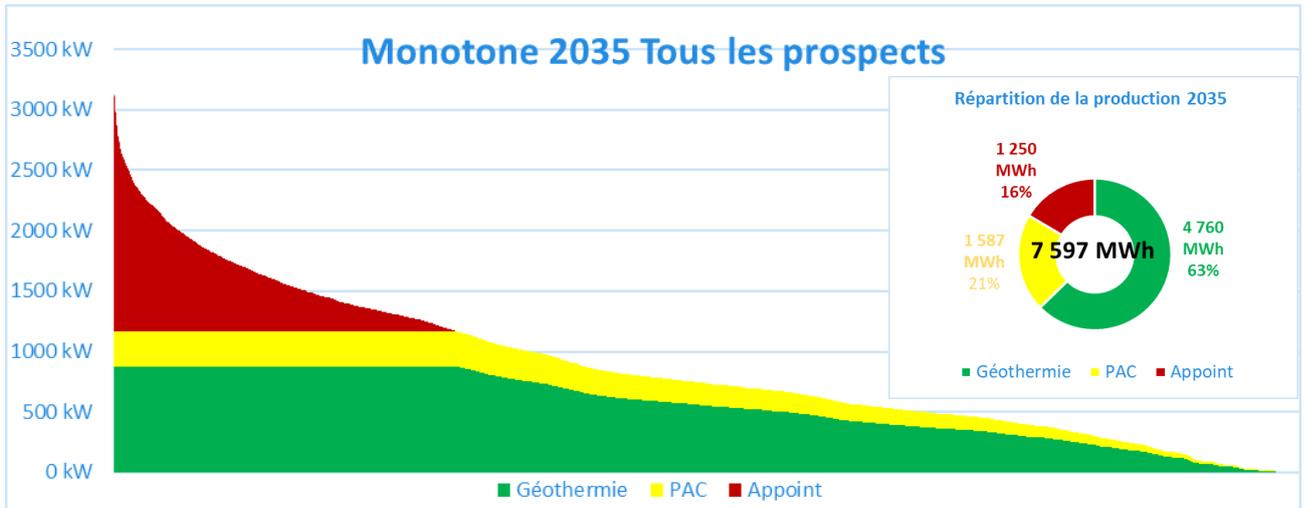
### Simulation 2 : prospects moyenne et forte probabilité 2035



Dans cette simulation il a été envisagé de raccorder les prospects à fort et moyen potentiel de raccordement. Les besoins, en 2035, seraient alors de 5 654 MWh annuel. Ces besoins nécessitent la mise en place de trois triplets géothermiques raccordés à des pompes à chaleur qui permettent de fournir 93% des besoins (dont 70% d'ENR). Les résultats énergétiques sont donc similaires à la situation précédente, avec la nécessité de mettre en place un triplet supplémentaire.



### Simulation 03 : tous les prospects



Dans cette simulation il a été envisagé de raccorder l’ensemble des prospects au réseau. Les besoins, en 2035, seraient alors de 7 597 MWh annuel et la mise en place de trois triplets géothermiques raccordés à des pompes à chaleur permettraient de fournir 84% des besoins (dont 63% d’ENR). Ce qui reste une belle cible pour un réseau de chaleur ENR puisqu’il permet la mise en place d’une TVA réduite (Nécessité d’une couverture ENR supérieur à 50%).

## 2.1.2 Synthèse énergétique

La mise en place d’une solution utilisant de l’énergie renouvelable comme un réseau géothermique permet de diminuer l’impact environnemental de la production et distribution de chauffage et d’ECS.

Le total des émissions de gaz à effet de serre émis dans l’atmosphère est nécessairement proportionnel à la quantité de chaleur produite. Les émissions produites seront donc différentes en fonction du profil des prospects retenus. Ainsi nous avons réalisé un comparatif pour les trois simulations retenues.

Le tableau suivant rassemble l’ensemble des informations concernant l’impact environnemental dans le cas d’une mise en place d’un appoint avec des chaudières électriques (étant donné l’absence de gaz sur le Parc Astérix) :

Solution thermique	Poste	Unité	Prospects à probabilité forte	Prospects à probabilité forte et moyenne	Tous les Prospects
-	Energie distribuée en sous-station	MWh u	4 066	5 374	7 217
Solution Référence	Besoins Electrique	MWh é	4 066	5 374	7 217
	Taux d'ENR	%	0%	0%	0%
	Emissions de CO2	Tonnes/an	321	425	570
	Poids carbone de la chaleur	kg CO2 /MWh	79	79	79
Solution Réseau Géothermique	Besoins couverts par la production ENR de la PAC	MWh u	2 874	3 962	4 760
	Besoins Electrique PAC	Mwh é	958	1 321	1 587
	Besoins Electrique Appoint	MWh é	449	373	1 250
	Taux d'ENR	%	67%	70%	63%
	Emissions de CO2	Tonnes/an	111	134	224
	Poids carbone de la chaleur	kg CO2 /MWh	27,33	25	31
	Emissions de CO2 évitées	Tonnes/an	210	291	346
	Voiture évitées	Voiture	60	83	99
	Km en voiture évités	km	837 051	1 158 244	1 378 526



On constate que la mise en place d'un réseau de chaleur de chaleur géothermique, et ce quel que soit le scénario retenu, permet de fortement décarboner la production de chaleur et d'ECS en permettant d'éviter entre **210 et 345 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent annuellement**.

### 2.1.3 Charges d'exploitation et coûts de la chaleur

Le tableau suivant rassemble les coûts d'exploitation liés à :

- **La fourniture énergétique (R1)**
- **La charges électricité process (R21),**
- **Le contrat d'entretien (R22),**
- **La maintenance (R23)**
- **Le remboursement annuel des investissements (R24)** – aucun investissement initial n'étant donc nécessaire

Poste	Unité	Réseau géothermique - Prospects à probabilité forte	Réseau géothermique - Prospects à probabilité forte et moyenne	Réseau géothermique - Tous les Prospects
Besoins couverts par la géothermie	MWh u	2 874	3 962	4 760
Besoins Electrique PAC	MWh é	958	1 321	1 587
Besoins Electrique appoint	MWh é	449	373	1 250
Besoins Electrique Process	MWh é	110	145	195
Total Energies distribuées en sous-station	MWh u	4 066	5 374	7 217
<b>Charges Proportionnelles à la consommation</b>				
Charges Gaz (R1)	€ HT	0	0	0
Charges Electricité (R1)	€ HT	253 246	304 958	510 648
<b>Total Charges Proportionnelles (R1)</b>	<b>€ HT</b>	<b>253 246</b>	<b>304 958</b>	<b>510 648</b>
<b>Charges Fixes</b>				
Charges Electricité Process (R21)	€ HT	19 763	26 119	35 074
Contrat d'Entretien (R22)	€ HT	61 145	84 169	113 845
Maintenance (R23)	€ HT	37 311	52 185	60 655
Remboursement Annuel (R24)	€ HT	166 308	251 251	323 999
<b>Total Charges Fixes (R2)</b>	<b>€ HT</b>	<b>284 526</b>	<b>413 723</b>	<b>533 572</b>
<b>TVA</b>				
TVA Réduite - 5,5%	€	29 577	39 527	57 432
<b>Charges</b>				
<b>Total Charges</b>	<b>€ HT</b>	<b>537 772</b>	<b>718 681</b>	<b>1 044 221</b>
<b>Total Charges</b>	<b>€ TTC</b>	<b>567 350</b>	<b>758 208</b>	<b>1 101 653</b>
<b>Total Charges / MWh vendus</b>	<b>€ HT / MWh</b>	<b>132</b>	<b>134</b>	<b>145</b>
<b>Total Charges / MWh vendus</b>	<b>€ TTC / MWh</b>	<b>140</b>	<b>141</b>	<b>153</b>
<b>Thermiques</b>				
<b>Taux ENR</b>	<b>%</b>	<b>67%</b>	<b>70%</b>	<b>63%</b>
<b>ENR produite</b>	<b>MWh</b>	<b>2 874</b>	<b>3 962</b>	<b>4 760</b>
<b>Part de la consommation totale du parc</b>	<b>%</b>	<b>11%</b>	<b>16%</b>	<b>19%</b>

La mise en place du réseau permet, en fonction du scénario retenu d'obtenir un prix de la chaleur allant de 127 à 144 € HT du MWh, bien inférieur au prix de l'électricité, considéré à 180 € HT dans la simulation. De plus l'application d'une TVA réduite permet d'autant plus d'améliorer la rentabilité du projet avec un prix allant de **134 à 152 € TTC du MWh**.

La mise en place d'un tel réseau de chaleur géothermique permet de produire via la géothermie entre **2 874 et 4 760 MWh** (en fonction du scénario retenu) **d'ENR** ce qui représenterait entre **11 et 19% des besoins globaux du parc en 2035**.

N'étant à ce jour pas envisagé de mettre en place de **solution collective de rafraîchissement** sur les nouveaux bâtiments, il a semblé pertinent d'optimiser la production géothermique en valorisant directement les calories de la géothermie via une pompe à chaleur afin d'alimenter un **réseau d'eau chaude** alimentant les différentes sous-stations.



Il est également possible de valoriser la géothermie en mettant en place des **sources de production délocalisées en sous-station**. Ainsi, la géothermie permet d'alimenter un **réseau d'eau tempérée** qui alimente l'ensemble des sous-stations. Dans ces sous-stations sont installés, selon les besoins, des équipements (PAC et/ou thermofrigopompe) pour la production **de chaud ou de froid ou de chaud et de froid**. Cette solution est avantageuse si d'importants besoins de froid existent dans les bâtiments. En revanche, si le réseau ne possède que des besoins de chauds cette solution est moins intéressante économiquement (multiplication des équipements de production).

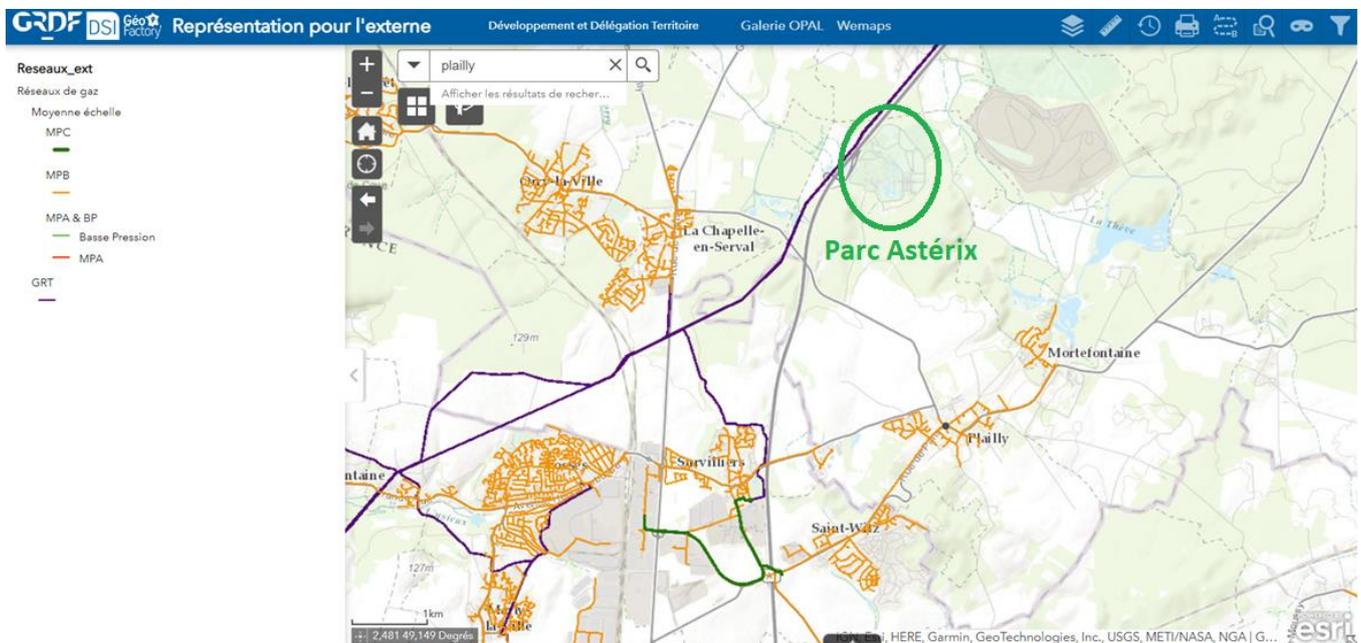


## 2.2 Etude d'opportunité mise en place réseau gaz naturel

Comme le montre le schéma suivant, le réseau basse pression de gaz ne passe pas à proximité du Parc Astérix, afin de raccorder le Parc il sera alors nécessaire de :

- Se raccorder sur le réseau GRT nécessitant des installations conséquentes
- Tirer un long linéaire de réseau depuis le réseau BP le plus proche

Ces deux solutions sont possibles et nécessiteront de forts investissements. Il sera alors nécessaire de faire faire une étude complète par GrDF pour connaître la solution la plus pertinente. Pour notre étude nous nous sommes basés sur un prix estimatif de 300 000 € HT.



En réalisant la même étude économique que précédemment en remplaçant les chaudières d'appoint électrique par des chaudières gaz nous arrivons aux résultats suivants :



Poste	Unité	Réseau géothermique - Prospects à probabilité forte	Réseau géothermique - Prospects à probabilité forte et moyenne	Réseau géothermique - Tous les Prospects
Besoins couverts par la production ENR de la PAC	MWh u	2 874	3 962	4 760
Besoins Electrique PAC	Mwh é	958	1 321	1 587
Besoins Energie Gaz Entrée Chaufferie	MWh PCS	520	432	1 447
Besoins Electrique Process	Mwh é	110	145	195
Total Energies distribuées en sous-station	MWh u	4 066	5 374	7 217
<b>Charges Proportionnelles à la consommation</b>				
Charges Gaz (R1)	€ HT	51 977	43 202	144 718
Charges Electricité (R1)	€ HT	172 411	237 771	285 582
<b>Total Charges Proportionnelles (R1)</b>	<b>€ HT</b>	<b>224 388</b>	<b>280 972</b>	<b>430 301</b>
<b>Charges Fixes</b>				
Charges Electricité Process (R21)	€ HT	19 763	26 119	35 074
Contrat d'Entretien (R22)	€ HT	60 779	83 524	111 680
Maintenance (R23)	€ HT	39 159	54 627	61 612
Remboursement Annuel (R24)	€ HT	177 532	265 995	329 824
<b>Total Charges Fixes (R2)</b>	<b>€ HT</b>	<b>297 233</b>	<b>430 264</b>	<b>538 189</b>
<b>TVA</b>				
TVA Réduite - 5,5%	€	28 689	39 118	53 267
<b>Charges</b>				
<b>Total Charges</b>	<b>€ HT</b>	<b>521 621</b>	<b>711 236</b>	<b>968 490</b>
<b>Total Charges</b>	<b>€ TTC</b>	<b>550 310</b>	<b>750 354</b>	<b>1 021 757</b>
<b>Total Charges / MWh vendus</b>	<b>€ HT / MWh</b>	<b>128</b>	<b>132</b>	<b>134</b>
<b>Total Charges / MWh vendus</b>	<b>€ TTC / MWh</b>	<b>135</b>	<b>140</b>	<b>142</b>
<b>Thermiques</b>				
<b>Taux ENR</b>	<b>%</b>	<b>67%</b>	<b>70%</b>	<b>63%</b>
<b>ENR produite</b>	<b>MWh</b>	<b>2 874</b>	<b>3 962</b>	<b>4 760</b>
<b>Part de la consommation totale du parc</b>	<b>%</b>	<b>11%</b>	<b>16%</b>	<b>19%</b>

Malgré les forts investissements nécessaires pour le raccordement au gaz, les investissements pour la solution d'appoint électrique nécessitant plus d'investissements et l'électricité étant plus cher que le gaz, la solution gaz apparaît comme légèrement plus économique avec des prix de la chaleur allant de **-1 à -7%**. Il serait tout de même pertinent de se rapprocher de GrDF pour avoir une étude complète de faisabilité technico-économique de raccordement car si la vente de chaleur leur permet de rembourser une partie des investissements nécessaires pour les travaux de raccordement, GrDF peut prendre à sa charge une partie de ces investissements ce qui pourrait nettement améliorer ce scénario.

Quel que soit le scénario retenu, la mise en place d'une solution gaz pour réaliser l'appoint secours nécessitera la mise en place de chaudières (appareils de combustion) dont la somme des puissances installées dépassera le seuil de 1 MW, ainsi la chaufferie sera une **Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE)**. Depuis le décret du 3 août 2018, ces installations sont classées dans la rubrique ICPE 2910-A et doivent être **déclarées en préfecture**. Les exigences liées à cette classification sont définies dans 5 arrêtés publiés à la même date, concernant les critères suivants :

- Le dossier administratif à communiquer à la préfecture
- Les contrôles périodiques et les non-conformités majeures associées
- Les conditions de mise en œuvre et d'exploitation à respecter



## 2.3 Etude d'opportunité mise en place chaufferie biomasse

Le principe du réseau biomasse est le même que le réseau géothermique mais la chaufferie est ici alimentée en biomasse (généralement du granulé ou de la plaquette forestière). Elle est associée à une unité d'appoint utilisée lors des pointes. Le combustible est livré par camion plusieurs fois par semaine, voire par jour sur les unités de forte puissance, en saison froide. Le bois provient de gisements aussi proches que possible de la chaufferie : forêts des communes des environs, sous-produits et déchets de l'industrie locale du bois (scieries par exemple), déchets bois divers (élagage, palettes, bois de construction, etc.).

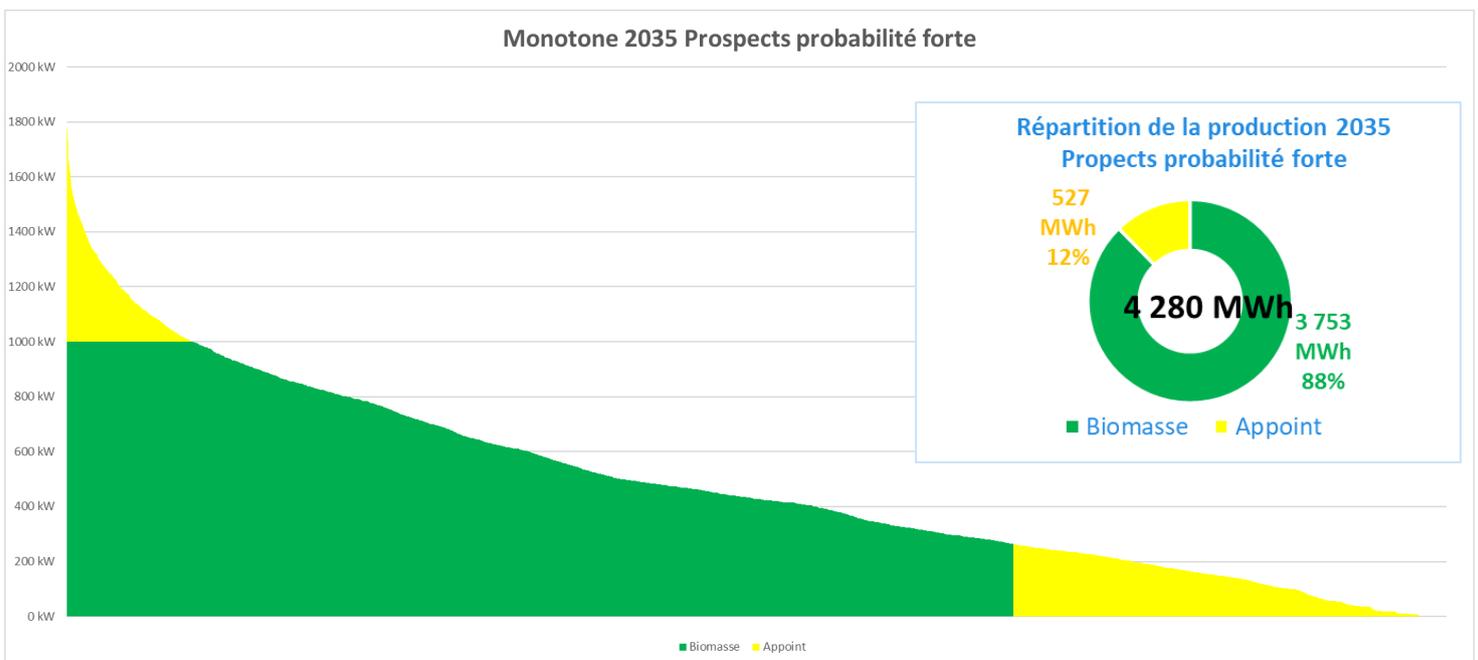
Un réseau de chaleur biomasse permet d'avoir une plus grande flexibilité sur la production :

- Puissance installée adaptable en fonction des besoins
- Toujours possible de dimensionner pour avoir taux ENR de plus de 60%
- Possibilité d'augmentation la puissance installée en fonction de l'avancement des constructions des nouveaux projets
- Possibilité de couvrir plus de besoins et donc d'avoir une production ENR plus importante
- Dossier de subvention ADEME plus compliqué, il faut respecter EnR'CHOIX et donc montrer qu'il n'existait pas de solution avec des énergies non délocalisables (géothermie) pertinente

### 2.3.1 Résultats de la simulation

#### Simulation 1 : Prospects forte probabilité en 2035

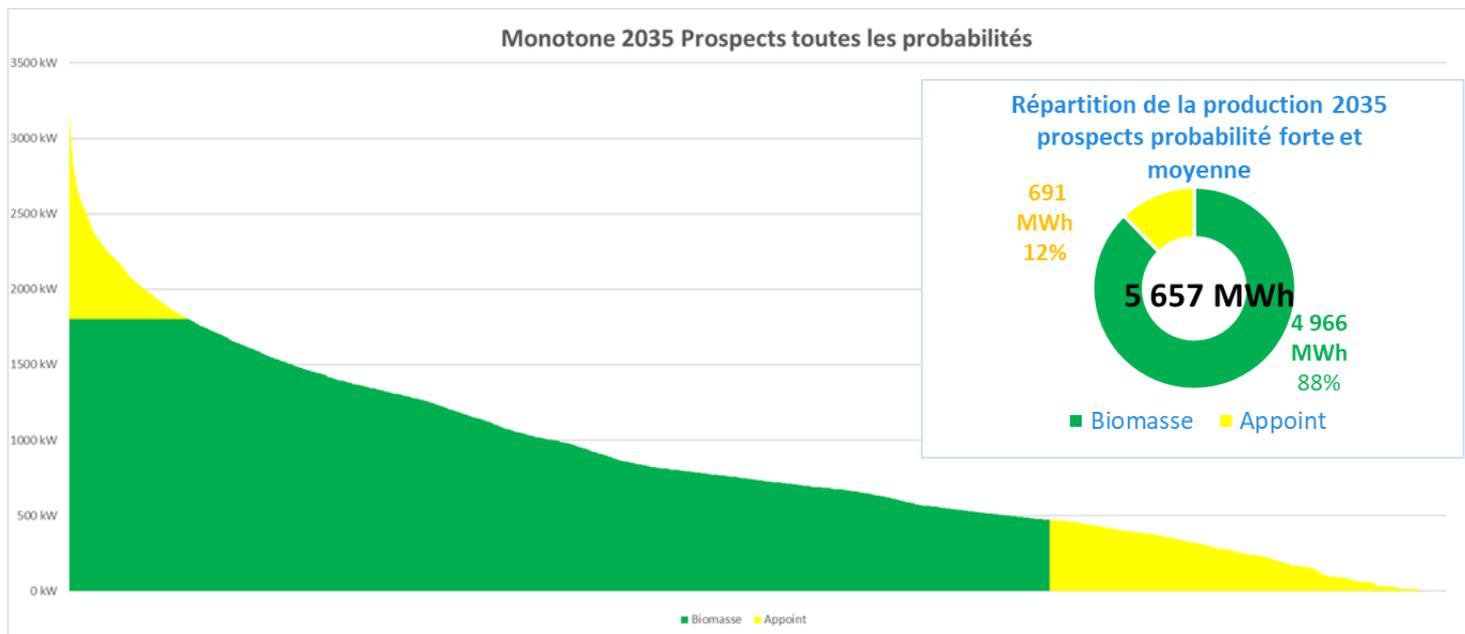
Monotone de la production toute au long de l'année :





### Simulation 2 : Prospects moyenne et forte probabilité en 2035

Monotone de la production toute au long de l'année :



### Simulation 3 : prospects de toutes les probabilités en 2035

Monotone de la production toute au long de l'année :



Les trois monotones ci-dessus montrent que quel que soit le scénario il est possible de dimensionner une chaufferie biomasse permettant de répondre aux besoins du réseau avec un faible appoint nécessaire lorsque la puissance appelée est inférieure au **minimum technique de la chaudière bois** ou supérieure à sa puissance maximale. La production biomasse couvre 88-89% des besoins pour les trois cas.



## 2.3.2 Synthèse énergétique

Le tableau suivant rassemble l'ensemble des informations concernant l'impact environnemental dans le cas d'une mise en place d'un appoint avec des chaudières électriques (étant donné l'absence de gaz sur le Parc Astérix) :

Poste	Unité	Prospects à probabilité forte	Prospects à probabilité forte et moyenne	Tous les Prospects
Energie distribuée en sous-station	MWh u	4 066	5 374	7 217
Besoins Electrique	MWh é	4 066	5 374	7 217
Taux d'ENR	%	0%	0%	0%
Emissions de CO2	Tonnes/an	321	425	570
Poids carbone de la chaleur	kg CO2 /MWh	79	79	79
Besoins couverts par la production ENR Biomasse	MWh u	3 738	4 965	6 731
Besoins Electrique Appoint	MWh é	449	692	865
Taux d'ENR	%	89%	88%	89%
Emissions de CO2	Tonnes/an	135	187	248
Poids carbone de la chaleur	kg CO2 /MWh	33,24	35	34
Emissions de CO2 évitées	Tonnes/an	186	238	322
Voiture évitées	Voiture	53	68	92
Km en voiture évités	km	741 380	946 263	1 284 202

On constate que la mise en place d'un réseau de chaleur de chaleur biomasse permet également de fortement décarboner la production de chaleur et d'ECS en permettant d'éviter entre **186 et 322 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent annuellement**. Le poids CO<sub>2</sub> équivalent du réseau est donc légèrement supérieur à celui du réseau géothermique.

De la même façon que pour la solution géothermique avec appoint gaz, quel que soit le scénario retenu, la mise en place d'une solution biomasse nécessitera la mise en place de chaudières dont la somme des puissances installées dépassera le seuil de 1 MW, ainsi la chaufferie sera **une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE)** et devra être **déclarée en préfecture**.

## 2.3.3 Charges d'exploitation et coûts de la chaleur

Le tableau suivant rassemble les coûts d'exploitation liés à :

- **La fourniture énergétique (R1)**
- **La charges électricité process (R21),**
- **Le contrat d'entretien (R22),**
- **La maintenance (R23)**
- **Le remboursement annuel des investissements (R24)** – aucun investissement initial n'étant donc nécessaire



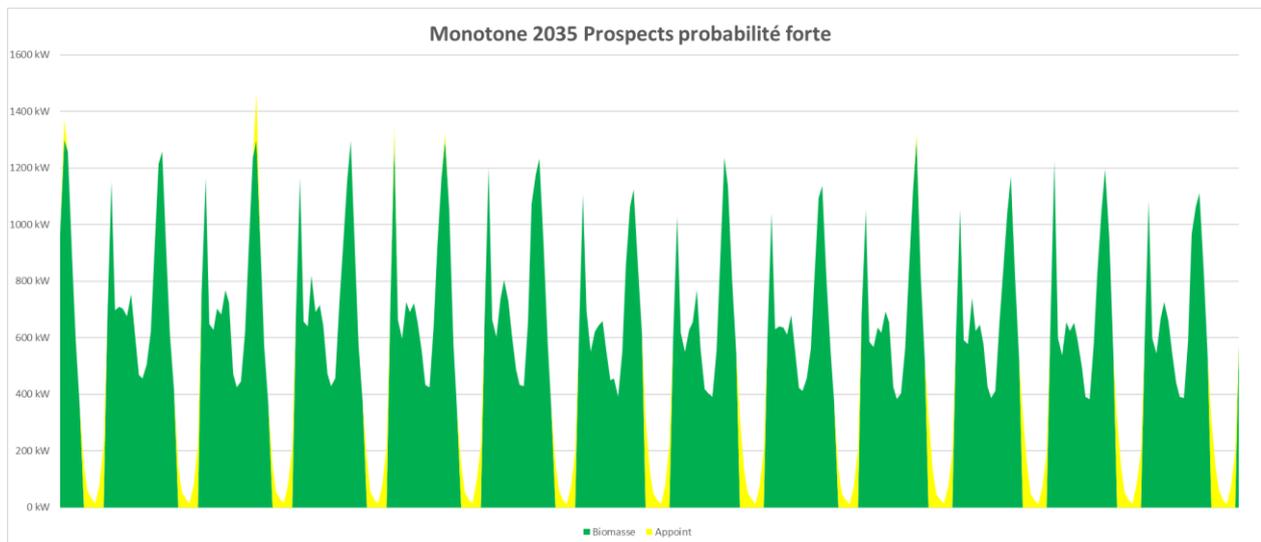
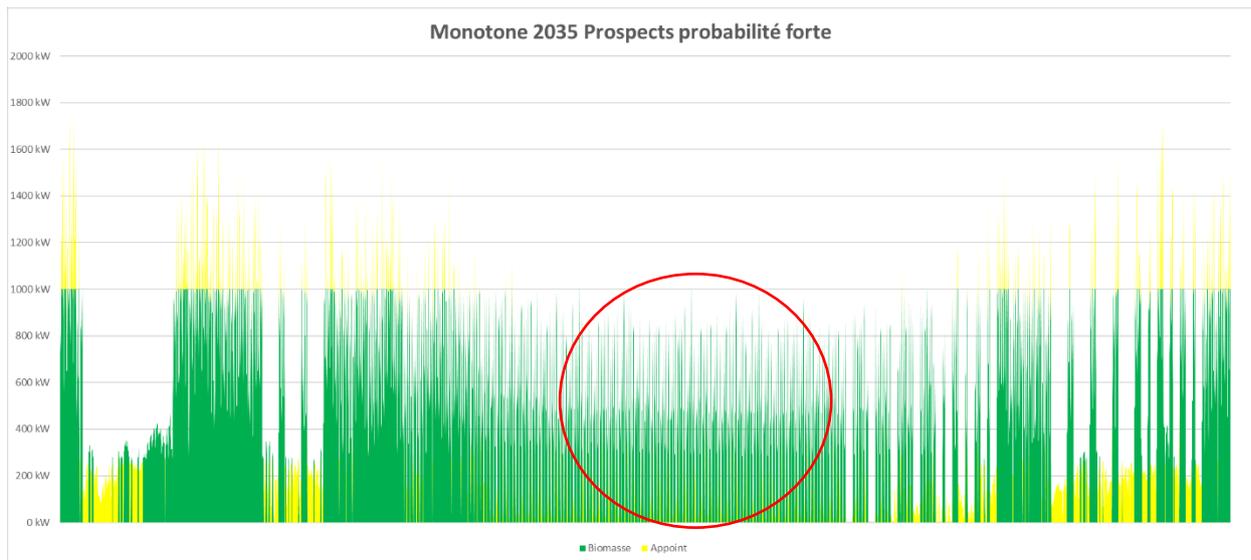
Poste	Unité	Réseau Biomasse - Prospects à probabilité forte	Réseau Biomasse - Prospects à probabilité forte et moyenne	Réseau Biomasse - Tous les Prospects
Besoins couverts par la biomasse	MWh u	3 738	4 965	6 731
Besoins Electrique appoint	MWh é	449	692	865
Besoins Electrique Process	MWh é	110	145	195
Total Energies distribuées en sous-station	MWh u	4 066	5 374	7 217
<b>Charges Proportionnelles à la consommation</b>				
Charges Bois (R1)	€ HT	181 713	241 375	327 189
Charges Gaz (R1)	€ HT	0	0	0
Charges Electricité (R1)	€ HT	80 835	124 492	155 636
<b>Total Charges Proportionnelles (R1)</b>	<b>€ HT</b>	<b>262 549</b>	<b>365 867</b>	<b>482 825</b>
<b>Charges Fixes</b>				
Charges Electricité Process (R21)	€ HT	19 763	26 119	35 074
Contrat d'Entretien (R22)	€ HT	61 145	84 169	113 845
Maintenance (R23)	€ HT	18 537	25 707	34 022
Remboursement Annuel (R24)	€ HT	89 069	152 535	228 559
<b>Total Charges Fixes (R2)</b>	<b>€ HT</b>	<b>188 514</b>	<b>288 528</b>	<b>411 500</b>
<b>TVA</b>				
TVA Réduite - 5,5%	€	24 808	35 992	49 188
<b>Charges</b>				
<b>Total Charges</b>	<b>€ HT</b>	<b>451 063</b>	<b>654 396</b>	<b>894 324</b>
<b>Total Charges</b>	<b>€ TTC</b>	<b>475 871</b>	<b>690 387</b>	<b>943 512</b>
<b>Total Charges / MWh vendus</b>	<b>€ HT / MWh</b>	<b>111</b>	<b>122</b>	<b>124</b>
<b>Total Charges / MWh vendus</b>	<b>€ TTC / MWh</b>	<b>117</b>	<b>128</b>	<b>131</b>
<b>Thermiques</b>				
<b>Taux ENR</b>	<b>%</b>	<b>89%</b>	<b>88%</b>	<b>89%</b>
<b>ENR produite</b>	<b>MWh</b>	<b>3 738</b>	<b>4 965</b>	<b>6 731</b>
<b>Part de la consommation totale du parc</b>	<b>%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>	<b>27%</b>

La mise en place du réseau permet, en fonction du scénario retenu d'obtenir un prix de la chaleur allant de 111 à 124 € HT du MWh, bien inférieur au prix de l'électricité, considéré à 180 € HT dans la simulation. De plus l'application d'une TVA réduite permet d'autant plus d'améliorer la rentabilité du projet avec un prix allant de **117 à 131 € TTC du MWh**. Cette solution apparait donc comme plus économique que le réseau géothermique avec un coût d'environ 10 à 15% inférieur.

La mise en place d'un tel réseau de chaleur biomasse permet de produire via la géothermie entre **2 874 et 4 760 MWh** (en fonction du scénario retenu) **d'ENR** ce qui représenterait entre **11 et 19% des besoins globaux du parc en 2035**.

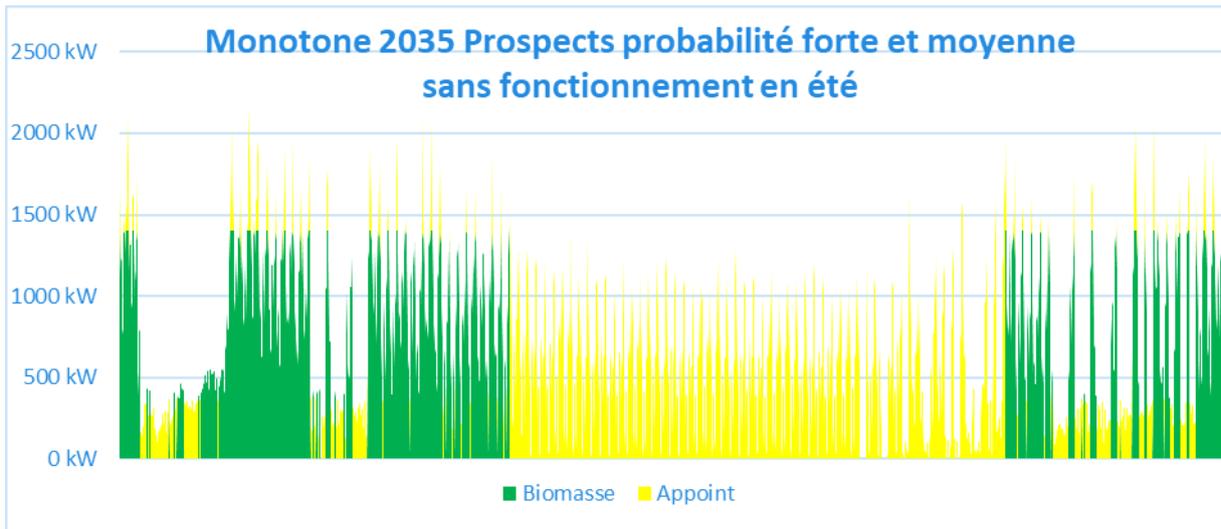
### 2.3.4 Réserve à prendre par rapport à la solution biomasse

Le gros problème d'une chaudière biomasse est qu'elle possède un minimum technique sous lequel elle ne peut fonctionner, soit elle envoie le surplus de chaleur en fumée (ce qui n'est jamais conseillé) soit elle doit s'arrêter. Cela pose généralement un problème en été lorsque les puissances appelées sont moins importantes. Le graphique ci-dessus met en évidence ce principe : en été la chaudière biomasse ne fait que de s'arrêter et de redémarrer (partie encadrée sur le graphique), ce qui n'est pas bon pour la durée de vie de la chaudière et entraîne de nombreux problèmes d'exploitation. Ainsi il est préférable d'arrêter la chaudière biomasse pendant la période estivale.

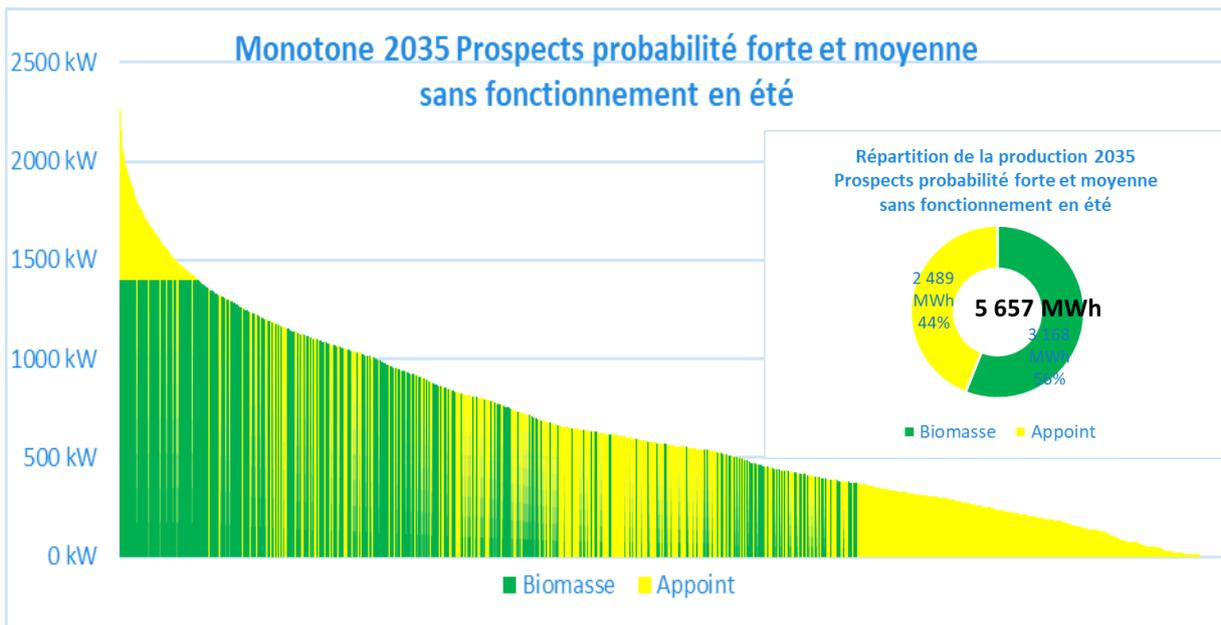


En arrêtant la chaudière biomasse pendant la période estivale, la monotone est légèrement différente avec une grosse partie des appels de faibles puissances couverts par les chaudières d'appoint secours.

On constate sur le graphe ci-dessous **très peu d'arrêt de la chaudière biomasse**, si ce n'est un long arrêt pendant la période estivale permettant de faire le nécessaire concernant la maintenance, les contrôles règlementaires et les essais de la chaudière bois.



La monotone d'un tel fonctionnement se trouve donc en partie modifiée comme le montre le graphique suivant :



La production biomasse ne couvre plus que 56% des besoins ce qui a un impact considérable sur le résultat environnemental et économique de la solution :

- Les émissions de CO<sub>2</sub> évitées ne sont plus que de 143 tonnes (contre 238 dans le même scénario de prospects)
- Le prix de la chaleur est de **166 € HT (170 € TTC)** soit 33% plus élevé mais toujours inférieur à l'électricité dans notre simulation.

Il est tout de même possible de résoudre ce problème d'arrêt consécutif de la chaudière biomasse en été en dimensionnant la chaufferie de façon plus poussée (mise en place d'un volume tampon adapté ou de deux chaudières biomasse, une pour l'été une pour l'hiver) mais cela nécessite de réaliser des études de faisabilité plus poussées.



## 2.4 Etude d'opportunité mise en place d'installations solaires thermiques

### 2.4.1 Zones étudiées

---

La mise en place de panneaux solaires thermiques est pertinente lors de consommations d'ECS conséquentes. Ainsi, différentes zones du parc répondant à cette exigence ont été étudiées dans le cadre de l'étude :

- Zone hôtelière existante ;
- Zone de restauration ;
- Future zone hôtelière ;
- Future zone de restauration ;

Après analyse, certains sites existants et appartenant à ces catégories ne feront pas l'objet d'étude car leurs positions ne sont pas viables pour la mise en place de panneaux solaires thermiques, ou la consommation ECS n'est pas assez importante (Aérolaf, Delphinarium, Flottille de Néron,).

*Nota : L'étude d'opportunité a été réalisée à l'horizon 2035.*

### 2.4.2 Critères et contraintes

---

#### 2.4.2.1 Critères d'implantation

---

L'implantation des panneaux solaires s'effectue selon plusieurs critères :

- **L'exposition de la toiture** : les panneaux devront avoir une orientation le plus au sud possible ;
- **La surface brute disponible en toiture** : on entend par surface brute l'espace disponible sur la toiture terrasse qui diffère de la surface de panneaux qui pourra y être implanté ;
- **L'absence de masques proches et lointains** ;
- **L'inclinaison** : l'inclinaison permettant de récupérer un maximum d'irradiation est d'environ 30° par rapport à l'horizontale ; nous pouvons faire le choix de diminuer cet angle pour que les panneaux soient moins visibles pour les visiteurs du parc.

#### 2.4.2.2 Contraintes diverses

---

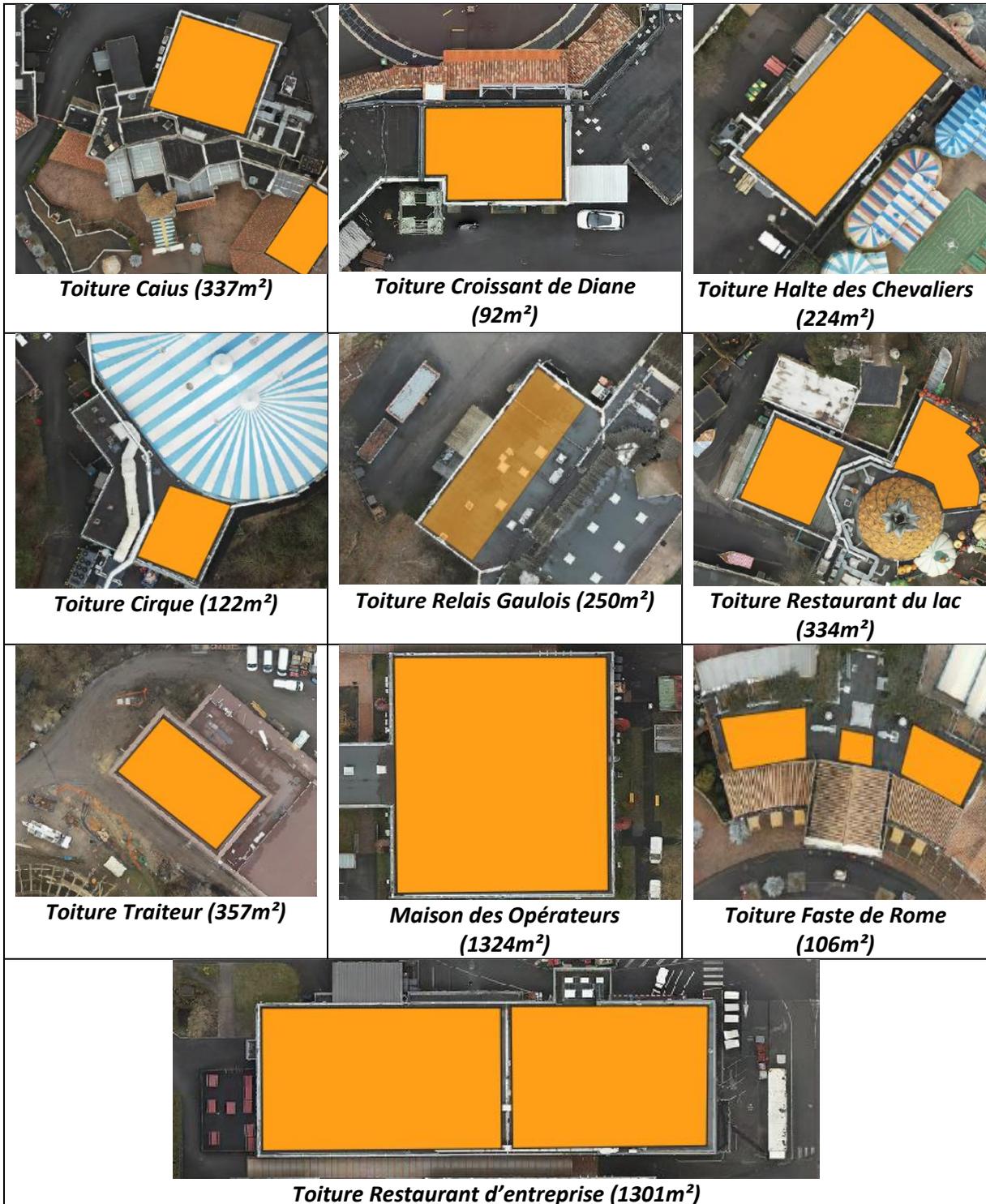
La mise en place de ce type d'installation entraîne certaines contraintes :

- Nécessite de disposer ou de créer un local technique, en zone hors-gel, accessible et capable d'accueillir tous les équipements solaires notamment les ballons de stockage.
- Propriétés physiques (température, pression) spécifiques du solaire à prendre en compte.
- Risques sanitaires (développement de la légionelle, fuite d'eau glycolée) à prendre en compte.
- Une étude structure doit être effectuée par un organisme afin d'assurer l'intégrité du bâtiment existant après la pose des installations en toiture.



## 2.4.3 Production annuelle

Les bâtiments qui ont été pris en compte pour la mise en place de panneaux solaire thermique sont les suivants :





Pour ces sites, une estimation des consommations en ECS a été faite à partir des données qui nous ont été fournies (nombre de couverts journaliers, surface du bâtiment, ...). Nous avons donc pu déterminer le nombre de capteurs solaires à installer pour répondre aux besoins des sites.

Le dimensionnement des installations solaire thermique se fait pour répondre à un objectif d'environ 60% des besoins annuels pour limiter la production en été et éviter ainsi le risque de surchauffe du fluide caloporteur et la dégradation de la production. Nous avons établi la surface nécessaire pour cet objectif et le nombre de capteurs qu'il faut installer. Les bâtiments n'ayant pas toujours la surface de toiture nécessaire nous avons dimensionné les installations afin de répondre à ce besoin tout en limitant la surface de toiture utilisée à 70% afin de permettre la circulation nécessaire à l'entretien des panneaux c'est pourquoi pour certains sites la part de consommations couvertes par le solaire est inférieure à 60%.

Bâtiments	Surface utilisée (m <sup>2</sup> )	Nombre de capteurs	Production solaire MWh/an	Volume ballon (L) réelle	Part de la surface de toiture utilisée (%)	Part des consommations ECS couvertes par le solaire (%)
Caius	115	50	51,8	5 800	34%	60%
Cirque	85	37	38,3	4 300	70%	55%
Croissant de Diane	12	5	5,2	600	13%	73%
Faste de Rome	74	32	33,1	3 800	70%	16%
Relais Gaulois	156	68	70,4	7 900	63%	61%
Restaurant d'entreprise / sandwicherie	131	57	59,0	6 600	10%	61%
Restaurant du Lac	101	44	45,5	5 100	30%	61%
Restaurant Cité Suspendue	35	15	15,5	1 800	6%	64%
Traiteur	35	15	15,5	1 800	10%	64%
Maison des opérateurs	55	24	24,8	2 800	4%	61%
<b>Total</b>	<b>799</b>	<b>347</b>	<b>359,1</b>	<b>40 500</b>	<b>17%</b>	<b>48%</b>

Le volume des ballons est un résultat brut de calcul. Le volume final des ballons devra être sélectionné en fonction des tailles réelles des ballons chez les fournisseurs. Pour les volumes supérieurs à 3000 L, il faut considérer la mise en œuvre de plusieurs ballons de volume inférieur.

La mise en place de ces installations nécessite la disposition de la zone technique permettant d'accueillir tout le matériel (ballons, station solaire, échangeurs si nécessaire...).

La mise en place de l'ensemble de ces panneaux permettrait de couvrir 359 MWh d'ECS, soit 48% des besoins des sites concernés et environ 2% de la consommation électrique totale du parc.

Les futurs projets qui ont été pris en compte pour la mise en place de panneaux solaire thermique sont les suivants :



Bâtiments	Surface utilisée (m²)	Nombre de capteurs	Production solaire MWh/an	Volume ballon (L) réelle	Part des consommations ECS couvertes par le solaire (%)
Grec - Service à Table	216	94	97,3	10 900	60%
Egypte - Kebab	163	71	73,5	8 200	60%
Ext H3H - Restaurant Expérientiel	324	141	145,9	16 300	60%
19ème Fast Food	216	94	97,3	10 900	60%
Nouvelle Halte - Food Court	649	282	291,9	32 500	60%
Seconde Cantine du personnel	131	57	59,0	6 600	61%
H4 - Restaurant 1	216	94	97,3	10 900	60%
H4 - Restaurant 2	216	94	97,3	10 900	60%
Rue de Paris - Sandwicherie 1	108	47	48,6	5 500	60%
Rue de Paris - Sandwicherie 2	108	47	48,6	5 500	60%
Ext H3H	352	153	158,4	17 600	60%
H4	973	423	437,8	48 700	60%
H5	488	212	219,4	24 400	60%
<b>Total</b>	<b>4 161</b>	<b>1 809</b>	<b>1 872</b>	<b>208 900</b>	<b>60%</b>

Les surfaces de toiture disponibles n'étant pas connu, nous avons calculé la surface de toiture nécessaire à couvrir 60% des besoins ECS pour chaque bâtiment. Lors de la phase étude pour la construction des bâtiments il s'agira d'essayer de laisser cette surface disponible pour la mise en place de panneaux tout en permettant une circulation pour l'entretien. Ce dimensionnement permettrait de couvrir 1 872 MWh d'ECS, soit 60% des besoins des projets.

La mise en place couplée de production solaire sur les sites existants et les projets permet de couvrir 2 231 MWh d'ECS annuel, soit 58% des besoins de ces sites. Ce qui représenterait environ **9% de la consommation électrique totale du parc à la suite de son développement.**

Pour la mise en place de ces capteurs sur les bâtiments existants il sera nécessaire de réaliser une étude structure pour s'assurer de la faisabilité de rajouter le poids des capteurs sur la toiture. Pour les bâtiments futurs il faudra prévoir le poids des capteurs lors de la construction du bâtiment.

Afin de réaliser ces travaux dans les règles de l'art, il est fortement recommandé d'imposer le respect du DTU du CSTB associé : **NF DTU 65.12 Installations solaires thermiques avec des capteurs vitrés.**



## 2.4.4 Investissement et coûts d'exploitation

Pour les bâtiments existants et les projets à venir, les coûts d'investissements pour la mise en place de ces panneaux ont été calculés. Pour ce type de projet des subventions sont envisageables afin de venir améliorer la rentabilité de ces projets. Ainsi les calculs ont été réalisés avec et sans subvention.

EXISTANTS				PROJETS			
Sans subvention		Avec subvention		Sans subvention		Avec subvention	
Objectif prod. Solaire (MWh/an) (60%)	359,1	Objectif prod. Solaire (MWh/an) (60%)	359,1	Objectif prod. Solaire (MWh/an) (60%)	1872,3	Objectif prod. Solaire (MWh/an) (60%)	1872,3
Surface de panneaux installés (m2)	799	Surface de panneaux installés (m2)	799	Surface de panneaux installés (m2)	4 161	Surface de panneaux installés (m2)	4 161
Mise en place d'installations solaire (€HT)	719 000 €	Mise en place d'installations solaire (€HT)	287 640 €	Mise en place d'installations solaire (€HT)	3 744 630 €	Mise en place d'installations solaire (€HT)	1 497 852 €
Coûts maintenance (€) / an	21 300 €	Coûts maintenance (€) / an	21 300 €	Coûts maintenance (€) / an	104 000 €	Coûts maintenance (€) / an	104 000 €
Gain prod. Électrique (€) / an	64 600 €	Prix prod. Électrique (€) / an	64 646 €	Prix prod. Électrique (€) / an	337 017 €	Prix prod. Électrique (€) / an	337 017 €
Retour sur investissement (années)	16,6	Retour sur investissement (années)	6,6	Retour sur investissement (années)	16,1	Retour sur investissement (années)	6,4

Pour les bâtiments existants et les projets les résultats sont similaires, le temps de retour sur investissement sans subvention est d'environ 16 ans alors qu'il est de 6,5 ans avec les subventions.

EXISTANTS + PROJETS		EXISTANTS + PROJETS	
Sans subvention		Avec subvention	
Mise en place d'installations solaire (€)	4 463 630,0 €	Mise en place d'installations solaire (€)	1 785 492,00 €
Coûts généraux (€)	125 300 €	Coûts généraux (€)	125 300 €
Prix prod. Électrique (€)	401 617 €	Prix prod. Électrique (€)	401 663 €
Retour sur investissement (années)	16,2	Retour sur investissement (années)	6,5



## 2.5 Etude d'opportunité mise en place solaire photovoltaïque

### 2.5.1 Zones étudiées

---

Différentes zones du parc ont été étudiées dans le cadre de l'étude :

- Zones administratives
- Zones de maintenance
- Zones hôtelière existante
- Zones de loisirs

Après une recherche géographique, certains sites existants et appartenant à ces catégories ne feront pas l'objet d'étude car leurs positions ne sont pas viables avec la mise en place de panneaux solaires photovoltaïque notamment à cause de masques solaire important ou d'une intégration trop voyante au sein du parc.

*Nota : L'étude d'opportunité a été réalisée à l'horizon 2035.*

### 2.5.2 Critères et contraintes

---

#### 2.5.2.1 Critères d'implantation

---

L'implantation des panneaux solaires s'effectue selon plusieurs critères :

- **L'exposition de la toiture** : les panneaux devront avoir une orientation le plus au sud possible
- **La surface brute disponible en toiture** : on entend par surface brute l'espace disponible sur la toiture terrasse qui diffère de la surface de panneaux qui pourra y être implanté ;
- **L'absence de masques proches et lointains** ;
- **L'inclinaison** : l'inclinaison permettant de récupérer un maximum d'irradiation est d'environ 30° par rapport à l'horizontale ; nous pouvons faire le choix de diminuer cet angle pour que les panneaux soient moins visibles pour les visiteurs du parc.

#### 2.5.2.2 Contraintes diverses

---

La mise en place de ce type d'installation entraîne certaines contraintes :

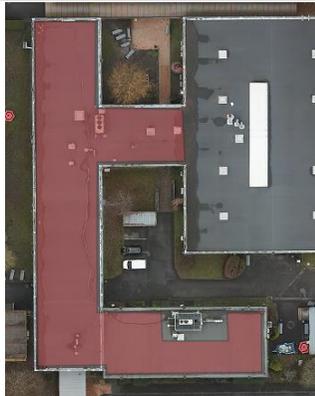
- Nécessite de trouver un emplacement adéquat ou de créer un local ventilé afin d'y intégrer les équipements afférents tels que les onduleurs.
- Prise en compte propriétés physiques (température, branchements électrique) spécifiques du photovoltaïque.

Une étude structure doit être effectuée par un organisme afin d'assurer l'intégrité du bâtiment existant après la pose des installations en toitures. De plus la plupart des panneaux photovoltaïques ont une durée de vie d'environ 20 ans. Ainsi, il faudrait que le bilan économique sur 20 ans permette de s'engager sereinement.



## 2.5.3 Résultats

Toitures étudiées dans le cadre de l'étude :



**Toiture Bureaux (1 152 m<sup>2</sup>)**



**Toiture PC (135 m<sup>2</sup>)**



**Toitures Entrepôts (4 904 m<sup>2</sup>)**



**Toiture Oziris (149 m<sup>2</sup>)**



**Toiture local maintenance Trace du Hourra (133 m<sup>2</sup>)**



**Toitures Menhir  
Express et Théâtre 4D  
(1 203 m<sup>2</sup>)**



**Toiture Théâtre du Barde (741 m<sup>2</sup>)**



**Toiture Zone Centre du Parc (663 m<sup>2</sup>)**



**Toiture Défis de César (664 m<sup>2</sup>)**



**Ombrières Parking Quai de Lutèce et Les 3 Hiboux (9 201 m<sup>2</sup>)**



**Ombrières Parking Quai de Lutèce (4 778 m<sup>2</sup>)**



**Toitures Boutiques Entrée (1 525 m<sup>2</sup>)**



**Ombrières Parking La Cité Suspendue  
(5 294 m<sup>2</sup>)**

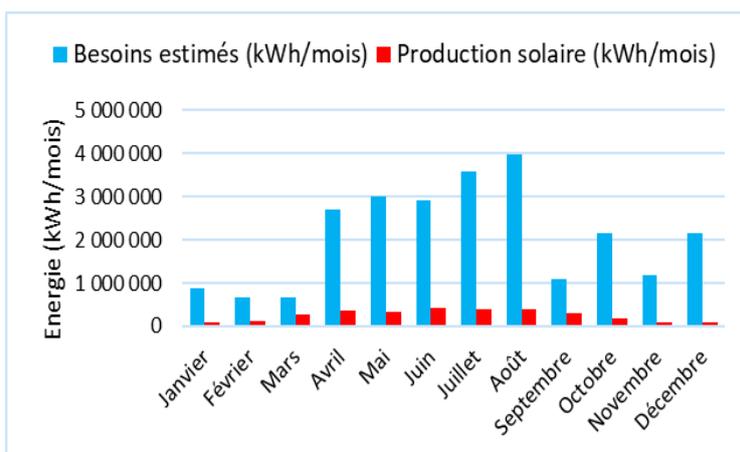
Un tableau ci-dessous récapitule les surfaces et les nombres de panneaux photovoltaïques installés par zones :

Bâtiments	Type Toiture	Surface brute [m <sup>2</sup> ]	Surface utile [m <sup>2</sup> ]	Surface installée [m <sup>2</sup> ]	Nombres de modules	Puissance crête (kWc)
Bureaux	Terrasse	1152	806,4	787	480	144
PC	Terrasse	135	94,5	92	56	16,8
Entrepôt 3	Terrasse	928	649,6	623	380	114
Entrepôt 1 et 2	Terrasse	2968	2077,6	2066	1260	378
Entrepôt 4	Terrasse	308	215,6	210	128	38,4
Entrepôt 5	Terrasse	700	490	433	264	79,2
Parkings Quais de Lutèce	Ombrières	4778	2389	2165	1320	396
Parkings Q de L et H3H	Ombrières	9201	4600,5	4330	2640	792
Parkings Cité Suspendue	Ombrières	5294	2647	2165	1320	396
Oziris	Terrasse	149	104,3	98	60	18
Local maintenance Trace du Hourra	Terrasse	133	93,1	92	56	16,8
Menhir Express	Terrasse	458	320,6	315	192	57,6
Théâtre 4D	Terrasse	745	521,5	433	264	79,2
Théâtre du Barde 1	Terrasse	416	291,2	289	176	52,8
Théâtre du Barde 2	Terrasse	325	227,5	223	136	40,8
Zone Parc Centre	Terrasse	663	464,1	433	264	79,2
Défis de Caesar	Terrasse	664	464,8	433	264	79,2
Boutiques entrées 1	Terrasse	159	111,3	105	64	19,2
Boutiques entrées 2	Terrasse	157	109,9	105	64	19,2
Boutiques entrées 3	Terrasse	260	182	144	88	26,4
Boutiques entrées 4	Terrasse	95	66,5	66	40	12
Boutiques entrées 5	Terrasse	612	428,4	413	252	75,6
Boutiques entrées 6	Terrasse	128	89,6	85	52	15,6
Boutiques entrées 7	Terrasse	114	79,8	72	44	13,2
<b>Total</b>		<b>30 542</b>	<b>17 525</b>	<b>16 177</b>	<b>9 864</b>	<b>2 959</b>

A noter que les surfaces utiles sont calculées à partir des surfaces brutes. Pour les toitures terrasse, nous prenons un pourcentage de 70% de la toiture brute afin de prendre en compte les équipements déjà présents sur les toitures et l'espace nécessaire afin de circuler et procéder à la maintenance des panneaux. Pour les ombrières en parking, nous prenons un pourcentage de 50% de la surface brute afin de prendre en compte les contraintes liées à la mise en place d'ombrières.

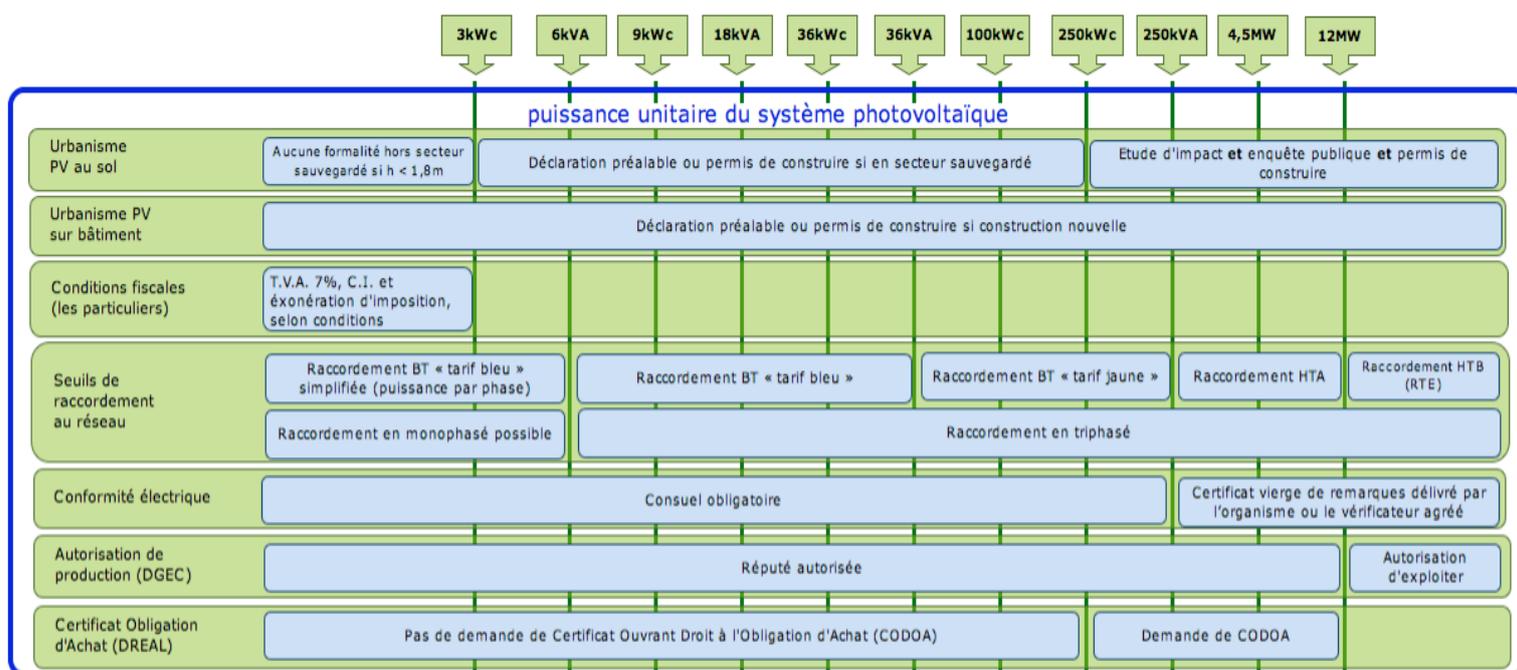
Le tableau des résultats est présenté ci-dessous :

Mois	Besoins estimés (kWh/mois)	Production solaire (kWh/mois)	Taux autoproduction	Taux autoconsommation
Janvier	890 074	82 291	9%	100%
Février	670 156	105 904	16%	100%
Mars	670 156	276 009	41%	100%
Avril	2 695 225	359 345	13%	100%
Mai	3 019 900	344 488	11%	100%
Juin	2 911 675	414 846	14%	100%
Juillet	3 575 736	405 423	11%	100%
Août	3 965 346	376 652	9%	100%
Septembre	1 082 251	305 206	28%	100%
Octobre	2 164 502	185 577	9%	100%
Novembre	1 190 476	94 191	8%	100%
Décembre	2 164 502	78 417	4%	100%
<b>Total</b>	<b>25 000 000</b>	<b>3 028 349</b>	<b>12%</b>	<b>100%</b>



La mise en place d'environ **10 000 capteurs**, représentant un peu plus de 16 000 m<sup>2</sup>, permet de couvrir **12% des besoins** estimés à la suite du développement du parc.

Les démarches et conditions réglementaires liés au projet photovoltaïque sont détaillées dans le schéma suivant :



Les démarches obligatoires applicables pour ces projets sont :

- L'obtention d'une déclaration préalable, pour l'implantation de panneaux solaires.
- Le raccordement au réseau
- L'obtention du Consuel électrique



La demande de raccordement requière de joindre les pièces suivantes au formulaire de demande de raccordement fourni par ENEDIS :

- La copie de la décision accordant la déclaration préalable aux travaux ou permis de construire,
- Un schéma électrique de l'installation photovoltaïque
- Un titre de propriété
- Un plan cadastral
- Le paiement d'une caution de réalisation (pour les installations supérieures à 9 kWc)

Attention, en cas de présence d'un aéroport à moins de 3 km du projet il faudra réaliser une demande à la DGAC : Etude de réverbération et éblouissement (pistes, tour de contrôles, hélistations).

## 2.5.4 Etude économique

### 2.5.4.1 Investissements

Voici le tableau présentant les investissements totaux nécessaires afin de mettre en place la solution photovoltaïque présentée en amont :

	Investissement €HT
<b>Panneaux solaires</b>	2 367 000
<b>Raccordement et installations électriques</b>	681 000
<b>Structure et génie civil</b>	562 000
<b>Etudes / Maitrise d'œuvre / Divers</b>	562 000
<b>Raccordement au réseau Enedis</b>	148 000
<b>Frais fixes</b>	89 000
<b>Total</b>	4 409 000

### 2.5.4.2 Charges d'exploitation et de maintenance

Le tableau ci-dessous présente les différentes charges annuelles et ponctuelles du projet :

Charges d'exploitation annuelles	
P2 - Entretien courant PV	6 000 € HT/an
P2 - Maintenance postes transfo HTA/BT	3 000 € HT/an
P2 - Télécontrôle PV	1 200 € HT/an
P3 - Renouvellement (onduleurs)	220 450 € HT
P3 - Provision annuelle du renouvellement	11 000 € HT/an
Autres charges annuelle	
Frais de gestion, assurances	15 200 € HT/an
TURPE Autoconsommation (surcoût)	0 € HT/an
Charges ponctuelles	
Démantèlement [d]	29 600 € HT
Année du démantèlement	20 <sup>e</sup> année



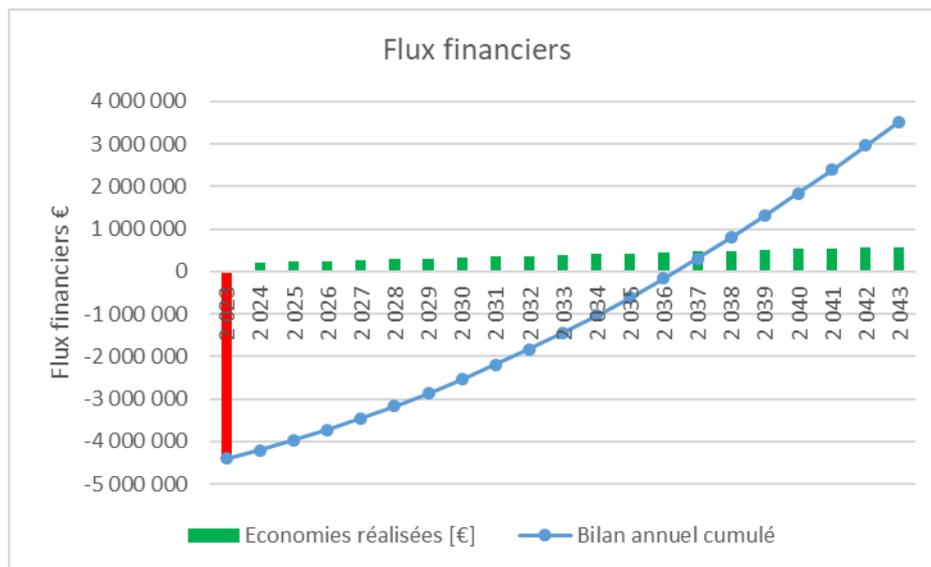
### 2.5.4.3 Hypothèses sur le financement

Les hypothèses de financement suivantes ont été faites :

Hypothèses sur le financement	
Investissement	4 409 000 € HT
% Fond propre	30%
Fond propre	1 322 700 € HT
Montant de l'emprunt	3 086 300 € HT
Taux d'emprunt	3,5%
Durée de l'emprunt	20 ans
P4 - Annuité constante	217 155 € HT/an
Coût de l'emprunt sur la durée de l'emprunt	1 256 808 € HT

### 2.5.4.4 Résultats et retour sur investissement

En prenant les données et hypothèses présentées en amont ainsi qu'un prix de l'électricité de évoluant comme indiqué dans l'annexe 2 nous avons donc le bilan financier suivant sur 20 ans :



L'économie faite chaque année est en moyenne de 406 660 €HT. Le temps de retour sur investissement est de 13,5 ans. Au bout des 20 ans de durée de vie, les panneaux auront permis d'économiser environ 3 523 000 €HT.



### 3. CONCLUSION

---

Cette étude de stratégie énergétique du Parc Astérix a permis de définir plusieurs lignes de conduites permettant de diminuer dans un premier temps les consommations du parc et de verdir les consommations du parc résultantes.

La **réalisation de travaux de rénovation énergétique** sur les bâtiments ayant des consommations de chauffage devrait facilement diminuer **la consommation globale de ces bâtiments par 20%**. La réalisation **d'audits énergétiques complets** sur ces bâtiments est nécessaire pour déterminer les cibles de diminution envisageables.

L'étude d'opportunité pour la mise en **place d'un réseau de chaleur géothermique** a mis en avant la possibilité de mettre en place un tel réseau en obtenant des prix compétitifs par rapport au prix de l'électricité. Cette solution permettrait de couvrir entre **11 et 19% des besoins à terme du Parc Astérix via une solution ENR** en fonction du profil des prospectifs raccordés. Cependant il serait nécessaire de réaliser un forage test pour s'assurer de la validité des hypothèses sous-sol, primordiales pour la faisabilité d'un tel projet.

Le raccordement au réseau de gaz naturel n'a pas d'impact sur la couverture ENR du réseau mais devrait permettre de diminuer le **coût de la chaleur d'environ 5%**. Il est toutefois nécessaire de demander une étude complète du raccordement à GrDF afin d'en connaître les réels investissements nécessaires, ce qui pourrait modifier les résultats de cette étude.

L'étude d'opportunité pour la mise en **place d'un réseau de chaleur biomasse** a mis en avant la pertinence d'un tel réseau en obtenant des prix encore plus compétitifs que ceux d'un réseau géothermique. Cette solution permettrait de couvrir entre **15 et 27% des besoins à terme du Parc Astérix via une solution ENR** en fonction du profil des prospectifs raccordés. Cependant il serait nécessaire de réaliser une étude de faisabilité et de dimensionnement plus complète pour s'éviter l'arrêt de la chaudière pendant la période estivale qui vient fortement diminuer les bons résultats de notre étude.

La mise en place de **panneaux solaires thermiques** permet de couvrir une **partie de besoins d'ECS** des bâtiments. Notre étude montre que le temps de **retour sur investissement est compris entre 6 et 16 ans** en fonction de l'obtention de subvention et permet de **couvrir 9% des besoins du Parc** s'ils sont placés sur l'ensemble des toitures des futurs projets avec des besoins d'ECS. Des études de structures seront nécessaires pour la mise en place de panneaux sur les bâtiments existants.

La mise en place de **panneaux photovoltaïques en autoconsommation** permet de couvrir une grande partie des besoins d'électricité du parc. Notre étude montre qu'il est possible d'avoir un temps de **retour sur investissement de 13,5 ans** (la moitié de la durée de vie des panneaux) et de **couvrir 12% des besoins du Parc**. De la même façon il faudrait faire une étude de structure pour les bâtiments existants. Il serait possible de couvrir une bien plus importante part de la consommation si ces panneaux étaient installés sur l'ensemble des parkings visiteurs en ombrières mais ces zones étant les dernières surfaces constructibles du parc il est probablement plus pertinent de les conserver pour des futures extensions.



09.01.2022

# Assistance à Maitrise d'Ouvrage pour la Stratégie énergétique du parc Astérix

## Annexe 2 - Méthodologie

Version 4 – Janvier 2023

MAÎTRE D'OUVRAGE

PARC ASTERIX  
60128 Plailly



## Table des matières

<b>1. Etat des lieux et préconisations .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Analyse des consommations électriques actuelles .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Etat des lieux et préconisations .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Estimations des consommations électriques futures .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Etude d'opportunité pour la création d'un réseau de chaleur géothermique .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Estimations des besoins du futur réseau .....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Etudes des prospects pour le raccordement à un réseau .....	6
2.1.2 Estimations des besoins .....	7
<b>2.2 Simulations thermiques du réseau .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3 Calcul du coût de la chaleur .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Etude d'opportunité mise en place d'un réseau gaz naturel .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Méthodologie globale .....</b>	<b>11</b>
<b>4. Etude d'opportunité pour la création d'un réseau de chaleur biomasse .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Estimations des besoins du futur réseau .....</b>	<b>12</b>
<b>4.2 Simulations thermiques du réseau .....</b>	<b>12</b>
<b>4.3 Calcul du coût de la chaleur .....</b>	<b>12</b>
<b>5. Etude d'opportunité photovoltaïque .....</b>	<b>13</b>
<b>5.1 Méthodologie globale .....</b>	<b>13</b>
<b>5.2 Méthodologie détaillée .....</b>	<b>13</b>
5.2.1 Choix des implantations .....	13
5.2.2 Hypothèses de modélisation .....	14
5.2.3 Simulation PVsyst .....	15
5.2.4 Traitement des résultats .....	16
5.2.5 Modèle économique .....	17
<b>6. Etude d'opportunité solaire thermique .....</b>	<b>19</b>
<b>6.1 Méthodologie globale .....</b>	<b>19</b>
<b>6.2 Méthodologie détaillée .....</b>	<b>19</b>
6.2.1 Choix des implantations .....	19
6.2.2 Hypothèses de modélisation .....	20
6.2.3 Traitement des résultats .....	22
6.2.4 Modèle économique .....	24

# 1. Etat des lieux et préconisations

---

Cette partie de l'étude a été réalisée par les personnes suivantes :

- Zoulikha CHERIF
- Paul TOUSSAINT
- Julien DAGOIS

## 1.1 Analyse des consommations électriques actuelles

Afin d'estimer les consommations totales du Parc Astérix, nous nous sommes basées sur les consommations électriques fournies par le Parc Astérix sur les 5 dernières années.

Etant le caractère particulier des deux dernières années (fermetures liées à la pandémie COVID), nous nous sommes basés sur les années 2016, 2017, 2018 et 2019 pour calculer les consommations moyenne à date du Parc. Ce calcul nous a permis d'estimer ces consommations à 19 000 MWh annuels.

## 1.2 Etat des lieux et préconisations

Nous avons estimé parmi les bâtiments du Parc Astérix ceux ayant les plus grandes consommations thermiques pour la production de chauffage et d'ECS.

Une visite sur site nous a permis de relever les caractéristiques thermiques de ces bâtiments. Ces caractéristiques nous ont permis de réaliser des préconisations d'amélioration thermique de ces bâtiments.

Nous avons ensuite réalisé des estimations des gains thermiques pouvant être entraînés par la réalisation des travaux préconisés. Ces gains ont été estimés en se basant sur des retours d'expérience de réalisation d'audits énergétiques avec calculs thermiques pour des travaux similaires. Des audits complets avec réalisation de simulations thermiques spécifiques aux bâtiments retenus sont nécessaires pour confirmer les gains pouvant être obtenus.

## 1.3 Estimations des consommations électriques futures

Afin d'estimer les consommations futures du Parc Astérix, nous nous sommes basés sur :

- Les consommations moyennes actuelles calculées
- Les diminutions de consommations envisagées via la réalisation des préconisations d'amélioration thermiques des bâtiments existants
- Le nouveau calendrier d'ouverture du Parc Astérix
- Les consommations estimées des projets futurs fournis par le Parc Astérix

Consommation actuelle	19 000 MWh
Actions de sobriété	-1 500 MWh
Augmentation de l'activité du Parc	2 500 MWh
Nouvelle construction du parc (Hotel, Paris)	5 000 MWh
<b>Consommation estimée pour 2035</b>	<b>25 000 MWh</b>

En se basant sur ces estimations les consommations pour 2035 ont été estimés à 25 000 MWh annuels.

#### Hypothèses de calcul :

- **Actions de sobriété :**
  - Gain de 20% sur les consommations de l'ensemble des bâtiments de la liste des sites supposées avoir les consommations d'énergies thermiques (Chauffage, Climatisation, et Eau Chaude Sanitaire) les plus importantes : Gain d'environ 750 MWh
  - Gain sur le reste du parc (y compris optimisation des consommations des attractions) équivalent : 750 MWh
  - **Total : - 1 500 MWh**
  
- **Augmentation de l'activité du Parc :**
  - Consommations actuelles avec 209 jours d'ouverture suite à ces actions de sobriété : 17 500 MWh
  - Hypothèse de consommations lors des jours de fermeture par rapport aux jours d'ouverture (chauffage hors gel, maintenance, activités des bureaux) : 37,5%
  - Consommations supplémentaires à 270 jours d'ouverture : 2 500 MWh  $(17\,500 / (209 + 156 \times 37,5\%)) \times ((270 - 209) + (95 - 156) \times 37,5\%)$
  - **Total : + 2 500 MWh**
  
- **Nouvelle construction du parc :**
  - Zones intérieures du parc (Zones Paris, Quai du Lac, Grèce, Egypte, Gaule) : aucune modification de consommations (les gains énergétiques grâce aux améliorations thermiques des nouveaux bâtiments par rapport aux anciens compensés par les consommations des attractions supplémentaires) : + 0 MWh
  - Zone hôtelière : Consommations de chauffage et d'ECS des nouveaux bâtiments estimés à 3 014 MWh (voir ci-après). Ces consommations représentent environ 60% des consommations totales d'un bâtiment. Les consommations totales de ces nouveaux bâtiments seront donc d'environ 5 000 MWh.  
Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons fait le calcul d'une autre méthode : Aujourd'hui les consommations des hôtels sont estimés à 24,4% des consommations totales du parc (dans le document « 1 - Revue Energetique 2021 (ESTIMATION) PAX » remis par le Parc Astérix). La zone hôtelière va être un peu plus que doublée mais les bâtiments seront plus performants (les hôtels sont déjà performants mais la RE2020 va imposer des bâtiments encore plus performants) il est donc pertinent de considérer que les consommations de la zone hôtelière va doubler, il faut donc rajouter environ 25% des besoins estimés  $(17\,500 - 1\,500 + 2\,500 = 20\,000)$ , soit 5 000 MWh.
  - **Total : + 5 000 MWh**

Répartition de ces 5 000 MWh dans les différents nouveaux bâtiments de la zone hôtelière :

- Extension H3H : 650 MWh
- Hôtel H4 : 2 000 MWh
- Hôtel H5 : 1 100 MWh
- Restaurant Expérientiel : 400 MWh
- H4 - Restaurant 1 et 2 : 600 MWh
- Pôle Aquatique : 250 MWh

## 2. Etude d'opportunité pour la création d'un réseau de chaleur géothermique

Cette partie de l'étude a été réalisé par la personnes suivante :

- Julien DAGOIS

### 2.1 Estimations des besoins du futur réseau

#### 2.1.1 Etudes des prospectes pour le raccordement à un réseau

Dans un premier temps il a été nécessaire de déterminer les bâtiments dont il serait pertinent de couvrir les besoins de chaleur de production d'ECS par une solution de réseau de chaleur vertueux. Ces bâtiments ont ensuite été classés en fonction de la faisabilité d'un raccordement à un tel réseau.

Le tableau suivant rassemble ces informations :

	Bâtiment	Zone	Probabilité : 1 : Fort - 2 : Moyen - 3 : Faible	Remarque
Bâtiment Existant	Cirque	Paris 20e	1	Bâtiment à rénover - Possibilité d'adapter la production
	Quais de Lutèce	Pole Hotelier	2	Production de chaleur centralisée
	Hôtel des Trois Hiboux	Pole Hotelier	3	Production de chaleur individuelle
	Cité Suspendue	Pole Hotelier	3	Production de chaleur individuelle
	Delphinarium (Théâtre d'eau)	Grece	2	Possibilité d'adapter la production de chauffe de l'eau
	Relais Gaulois	Gaule - Menhir	2	Bâtiment à rénover - Possibilité d'adapter la production
	Ciné 4D	Paris 20e	3	Production de chaleur individuelle
Projet	Bureau	Bureau	3	Production de chaleur individuelle
	Nouveau Restaurant du Lac	Quai du Lac	2	Bâtiment à rénover mais éloigné
	Grec - Service à Table	Grece	2	Bâtiment à rénover mais éloigné
	Egypte - Kebab (F&B - P'OzKebab)	Egypte	2	Bâtiment à rénover mais éloigné
	H4	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	Extension H3H	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	H5	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	Restaurant Expérientiel	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	H4 - Restaurant 1	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	H4 - Restaurant 2	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	Pôle Aquatique	Pole Hotelier	1	Bâtiment à construire
	Air de Jeu Aquatique	Gaule - Menhir	2	Attraction à construire mais éloigné
	Cantine du personnel	Gaule - Menhir	2	Attraction à construire mais éloigné
	19ème Fast Food	Paris 20e	1	Bâtiment à construire
	Family Coaster	Paris Darks	1	Bâtiment à construire
	Family Ride Interactif	Paris Darks	1	Bâtiment à construire
	Théâtre	Paris Darks	1	Bâtiment à construire
	Nouvelle Halte - Food Court	Paris Darks	1	Bâtiment à construire
	Tous en piste	Paris Darks	1	Bâtiment à construire
	Ventes Internes	Paris Darks	1	Bâtiment à construire

## 2.1.2 Estimations des besoins

L'étude a été réalisée en simulant le fonctionnement d'un réseau pour l'année 2035.

Afin d'estimer les besoins des différents bâtiments nous nous sommes basés sur les informations suivantes :

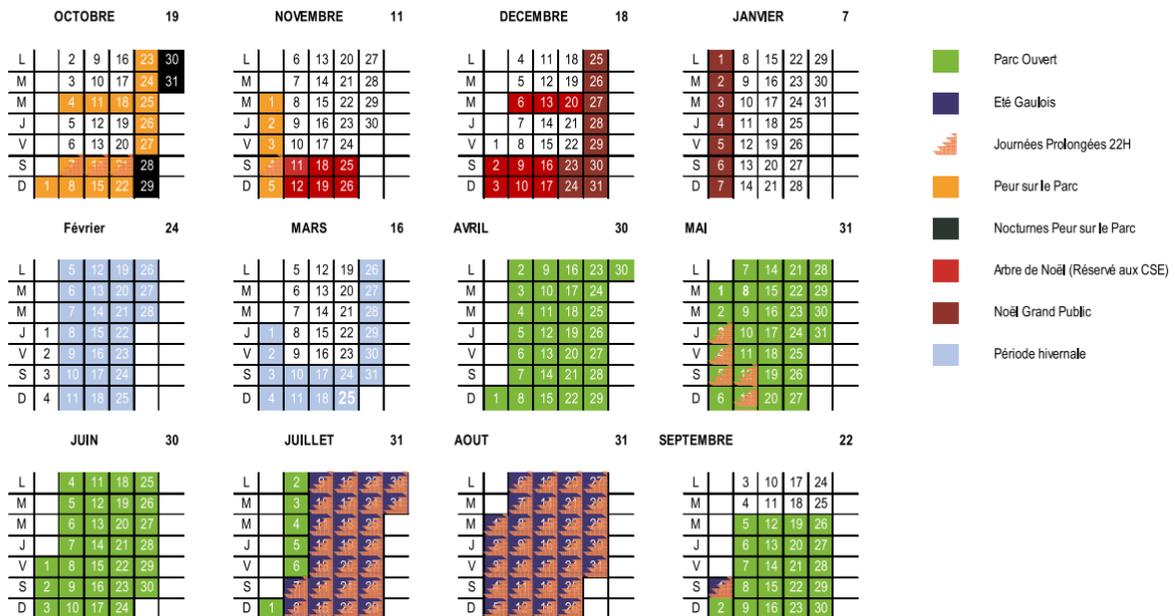
- Années de construction des bâtiments
- Nombres de chambres des Hôtels
- Nombres de couverts servis par restaurant
- Surface des bâtiments
- Volume des bassins

Ces informations sont rassemblées dans le tableau suivant :

	Bâtiment	Surface m <sup>2</sup>	Nb de couverts (pour restaurant)	Nb de chambres (pour hotel)	Date de construction	Conso Ch 2035 MWh	Conso ECS 2035 MWh
Bâtiment Existant	Cirque	1 600	431		1989	105	70
	Quais de Lutèce	8 000		105	2019	222	254
	Hôtel des Trois Hiboux	12 000		157	1999-2016	524	381
	Cité Suspendue	14 400		188	2017	400	458
	Delphinarium (Théâtre d'eau)	770			1989	110	0
	Relais Gaulois	1 700	718		1991	74	116
	Ciné 4D	1 350			1989	91	0
Projet	Bureau	15 645			1987	0	0
	Nouveau Restaurant du Lac	1 000	464		2028	24	75
	Grec - Service à Table	1 000	1 000		2025	24	162
	Egypte - Kebab (F&B - P'OzKebab)	500	1 500		2024	12	122
	H4	16 000		300	2025	445	729
	Extension H3H	4 000		108	2025	111	262
	H5	10 000		150	2031	278	365
	Restaurant Expérientiel	400	1 500		2031	10	243
	H4 - Restaurant 1	700	1 000		2025	17	162
	H4 - Restaurant 2	700	1 000		2025	17	162
	Pôle Aquatique	1 500			2031	214	0
	Air de Jeu Aquatique	100			2027	14	0
	Cantine du personnel	500	600		2027	12	97
	19ème Fast Food	500	2 000		2026	12	162
	Family Coaster	2 500			2028	69	0
	Family Ride Interactif	1 000			2028	28	0
	Théâtre	2 000			2028	56	0
Nouvelle Halte - Food Court	2 000	3 000		2028	48	486	
Tous en piste	1 300			2028	36	0	
Ventes Internes	600			2028	17	0	

Les consommations ont également été pondérées en fonction des jours d'ouverture du Parc Astérix, pour cela nous nous sommes basés sur le calendrier prévisionnel fourni par le Parc Astérix pour 2035, ce qui représente environ 270 jours d'ouverture annuel du parc :

# Calendrier prospectif 2035



## 2.2 Simulations thermiques du réseau

Afin de simuler le fonctionnement du réseau nous avons utilisé un logiciel interne permettant de simuler le fonctionnement horaire d'un réseau de chaleur en fonction des données suivantes :

- Température horaire extérieure – estimer par notre logiciel en fonction de la localisation du réseau
- Besoins en chauffage et ECS des prospects du réseau – calculer dans la partie présente
- Puissance des équipements de production – estimer à partir de l'étude sous-sol réaliser dans l'annexe n°1 et le choix des équipements de production réaliser par SERMET.

N'ayant pas d'arrivée de gaz sur le Parc Astérix, un appoint avec des chaudières électriques a été simulé.

Plusieurs simulations ont été réalisées afin de prendre en compte les prospects en fonction de leurs probabilités de raccordement au réseau de chaleur. (Prospects fortement probables, moyennement probable, tous les prospects). Le choix des équipements et le nombre de forage à réaliser ont été adaptés aux besoins du réseau afin d'obtenir des résultats pertinents d'un point de vue énergétique pour un réseau de chaleur géothermique.

## 2.3 Calcul du coût de la chaleur

Le coût de la chaleur a été calculé en prenant en compte les éléments suivants :

- La fourniture énergétique (R1)
- La charges électricité process (R21),
- Le contrat d'entretien (R22),
- La maintenance (R23)
- Le remboursement annuel des investissements (R24)

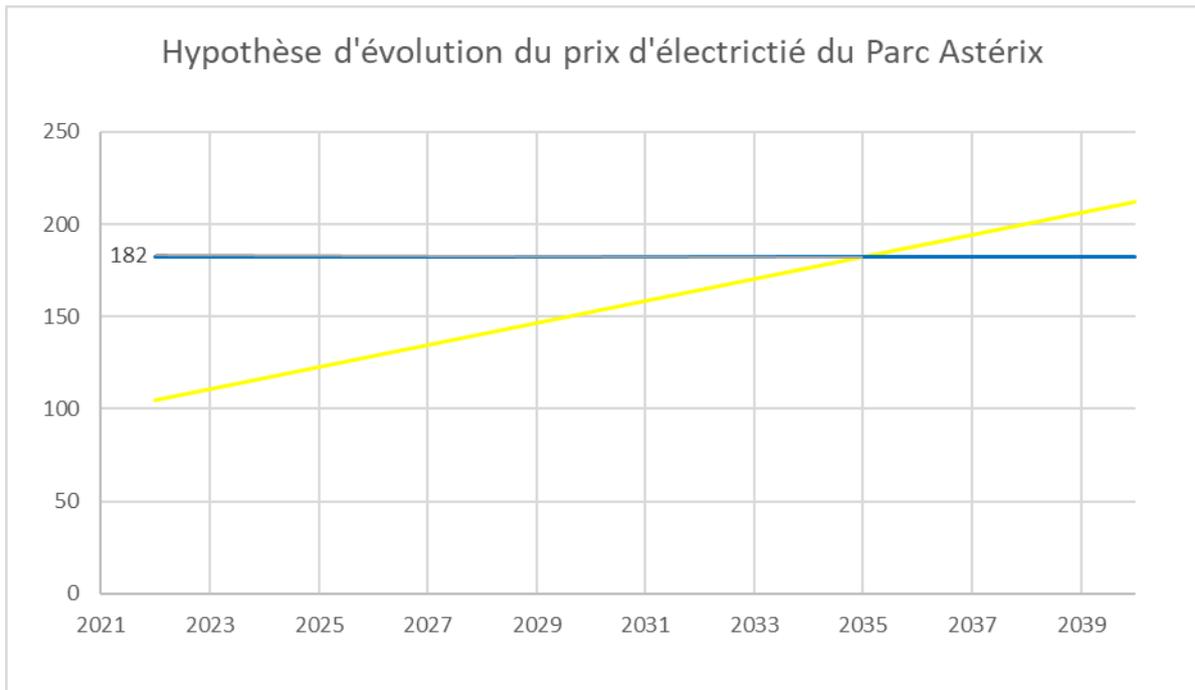
Des hypothèses ont été prises afin d'obtenir les résultats du rapport. Ces hypothèses sont rassemblées ci-dessous :

Prix		
Electricité	180	€/MWh
Entretien et Maintenance	Retour d'XP de SERMET	
Investissements	Retour d'XP de SERMET	

Notre hypothèse pour le prix de l'électricité a été réalisé de la façon suivante :

- Nous avons pris les 12 dernières factures d'électricité du Parc Astérix (juillet 2021 à juin 2022) et nous avons obtenu un prix moyen de 104,15 € HT du MWh
- Nous avons supposé une évolution linéaire du prix amenant à une augmentation du prix de 57% en 10 ans (hypothèse fournie par le Parc Astérix)
- Nous avons réalisé une régression linéaire afin d'obtenir le prix de chaque année
- Nous avons pris le prix pour 2035 : 182,29 € HT qui a été arrondi à 180 € HT du MWh.

	Conso	€ HT	€/MWh
juil-21	1839,35 MWh	109 065,82 €	59,30 €/MWh
août-21	1799,57 MWh	151 042,16 €	83,93 €/MWh
sept-21	1132,45 MWh	99 639,13 €	87,99 €/MWh
oct-21	1697,45 MWh	143 054,04 €	84,28 €/MWh
nov-21	1807,06 MWh	177 096,71 €	98,00 €/MWh
déc-21	1943,10 MWh	183 106,99 €	94,23 €/MWh
janv-22	1420,89 MWh	253 240,47 €	178,23 €/MWh
févr-22	1059,30 MWh	133 527,43 €	126,05 €/MWh
mars-22	1224,74 MWh	162 784,88 €	132,91 €/MWh
avr-22	1954,66 MWh	215 850,71 €	110,43 €/MWh
mai-22	1677,15 MWh	187 541,15 €	111,82 €/MWh
juin-22	1858,06 MWh	205 917,62 €	110,82 €/MWh
<b>Moyenne</b>	<b>19413,77 MWh</b>	<b>2021867,11</b>	<b>104,15 €/MWh</b>



## 3. Etude d'opportunité mise en place d'un réseau gaz naturel

Cette partie de l'étude a été réalisé par la personne suivante :

- Julien DAGOIS

### 3.1 Méthodologie globale

Afin de mettre en place un réseau de gaz pour assurer l'appoint secours du réseau de chaleur géothermique nous nous sommes rapprochés de GrDF qui nous a fourni une première enveloppe d'investissement nécessaire. Les réseaux de GrDF BP étant éloigné il sera probablement nécessaire de se raccorder sur le réseau GRT proche. Afin d'avoir un chiffrage précis il sera nécessaire de faire réaliser par GrDF une étude approfondie de cette faisabilité.

Les hypothèses suivantes ont été prises afin d'obtenir les résultats du rapport :

Prix	
Electricité	180 €/MWh
Gaz	100 €/MWh
Entretien et Maintenance	Retour d'XP de SERMET
Investissements	Retour d'XP de SERMET
Raccordement GrDF	300 000 €

## 4. Etude d'opportunité pour la création d'un réseau de chaleur biomasse

Cette partie de l'étude a été réalisé par les personnes suivantes :

- Zoulikha CHERIF
- Julien DAGOIS

### 4.1 Estimations des besoins du futur réseau

Les besoins sont identiques que pour l'étude d'opportunité précédente.

### 4.2 Simulations thermiques du réseau

Afin de simuler le fonctionnement du réseau nous avons à nouveau utilisé notre logiciel interne en remplaçant la centrale géothermique par une chaufferie biomasse.

Plusieurs simulations ont à nouveau été réalisées. Le choix des équipements, et de la puissance des chaudières biomasse à mettre en place ont été adaptés aux besoins du réseau afin d'obtenir des résultats pertinents d'un point de vue énergétique pour un réseau de chaleur géothermique.

### 4.3 Calcul du coût de la chaleur

Le coût de la chaleur a été calculé en prenant en compte les éléments suivants :

- La fourniture énergétique (R1)
- La charges électricité process (R21),
- Le contrat d'entretien (R22),
- La maintenance (R23)
- Le remboursement annuel des investissements (R24)

Des hypothèses ont été prises afin d'obtenir les résultats du rapport. Ces hypothèses sont rassemblées ci-dessous :

Prix	
Electricité	180 €/MWh
Gaz	100 €/MWh
Biomasse	43,75 €/MWh u
Entretien et Maintenance	Retour d'XP de SERMET
Investissements	Retour d'XP de SERMET

## 5. Etude d'opportunité photovoltaïque

---

Cette partie de l'étude a été réalisé par les personnes suivantes :

- Zoulikha CHERIF
- Paul TOUSSAINT
- Julien DAGOIS

### 5.1 Méthodologie globale

L'étude d'opportunité photovoltaïque sur le parc Astérix a été menée selon plusieurs phases qui seront explicitées et expliquées dans ce document. Les grandes étapes de l'étude ont été les suivantes :

- Le choix des implantations pouvant accueillir des installations photovoltaïques ;
- La définition des hypothèses quant aux surfaces, orientations et inclinaisons des modules photovoltaïques ;
- La simulation des champs photovoltaïques sur le logiciel PVsyst ;
- Le rassemblement et le traitement des résultats ;
- La construction d'un modèle économique afin d'étudier la rentabilité du projet.

L'ensemble de ces points seront abordés en explicitant les hypothèses prises à chaque étape.

### 5.2 Méthodologie détaillée

#### 5.2.1 Choix des implantations

---

En premier lieu, le PARC ASTERIX a fourni la surface des toitures et parkings pouvant accueillir des installations photovoltaïques. Un plan QGIS a ensuite été fourni par le PARC ASTERIX et le recensement des toitures et parkings présentant un potentiel photovoltaïque sur la base des informations données auparavant par le PARC ASTERIX a été réalisé.

Cette liste de toiture a ensuite été présentée à M. GALLUS qui a écarté ou retenu au cas par cas l'ensemble des implantations.

La liste des implantations retenue est la suivante :

- Toiture du PC de sécurité
- Toiture des Bureaux et des entrepôts
- Parking des Quais de Lutèce
- Parking des 3 Hiboux
- Parking de La Cité Suspendue
- Toiture de la gare d'Oziris
- Toiture du local de maintenance de la Trace du Hourra

- Toiture du Menhir Express
- Toiture du Théâtre 4D
- Toiture du Théâtre du Barde
- Toiture du Théâtre de Panoramix
- Toiture du Défi de César
- Toitures des boutiques à l'entrée du parc

## 5.2.2 Hypothèses de modélisation

Pour chacune des implantations, une surface disponible pour les installations, une orientation et une inclinaison ont été définies :

Nom implantation	Surface brute (m <sup>2</sup> )	Surface disponible (m <sup>2</sup> )	Orientation	Inclinaison
Bureaux	1152	806,4	Plein Sud (0°)	30°
PC	135	94,5	Plein Sud (0°)	30°
Entrepôt 3	928	649,6	Plein Sud (0°)	30°
Entrepôts 1 et 2	2968	2077,6	Plein Sud (0°)	30°
Entrepôt 4	308	215,6	Plein Sud (0°)	30°
Entrepôt 5	700	490	Plein Sud (0°)	30°
Parking Quais de Lutèce	4778	2389	Sud Est (-50°)	8°
Parking Q de L et H3H	9201	4600,5	Sud (-5°)	8°
Parking Cité Suspendue	5294	2647	Sud Est (-50°)	8°
Gare Oziris	149	104,3	Sud-Ouest (35°)	30°
Local maintenance Trace du Hourra	133	93,1	Sud Est (-20°)	30°
Menhir Express	458	320,6	Plein Sud (0°)	30°
Théâtre 4D	745	521,5	Plein Sud (0°)	30°
Théâtre du Barde 1	416	291,2	Sud-Ouest (35°)	30°
Théâtre du Barde 2	325	227,5	Sud Est (-30°)	30°
Théâtre de Panoramix	663	464,1	Sud Est (-30°)	30°
Défi de César	664	464,8	Sud Est (-30°)	30°
Boutiques entrée 1	159	111,3	Sud Est (-45°)	30°
Boutiques entrée 2	157	109,9	Sud Est (-20°)	30°
Boutiques entrée 3	260	182	Sud Est (-55°)	30°
Boutiques entrée 4	95	66,5	Sud Est (-55°)	30°
Boutiques entrée 5	612	428,4	Sud Est (-45°)	30°
Boutiques entrée 6	128	89,6	Sud Est (-45°)	30°
Boutiques entrée 7	114	79,8	Plein Sud (0°)	30°

La surface brute représente la surface disponible en toiture pouvant être utilisée pour l'implantation d'installation photovoltaïque.

La surface disponible représente la surface couverte par les panneaux photovoltaïques.

Un rapport de 0,7 pour les toitures et de 0,5 pour les ombrières a été pris afin de prendre en compte les différents éléments faisant perdre de la surface utile aux panneaux (passage à créer pour la maintenance, chemins de câbles, passage des voitures ...).

### 5.2.3 Simulation PVsyst

Afin de simuler la production solaire potentielle sur les implantations choisies, SERMET a utilisé le logiciel **PVsyst**. Pour chaque implantation listée dans le tableau vu auparavant, un champ solaire est créé à partir de la surface disponible. Les panneaux choisis pour la simulation sont des modules monocristallins LG 300 N1C-B3 de chez LG Electronics de 300 Watt crêtes.

Pour chaque champ créé, un onduleur Huawei Technologies est choisi en fonction de sa puissance. Il ne faut pas qu'il soit surdimensionner pour limiter les pertes par surpuissance, on recherche un taux de pertes d'environ 0%. On choisit également des onduleurs permettant une régulation plus perfectionnée grâce à la technologie MPPT.

Ci-dessous le nombre de modules PV et d'onduleurs ainsi que les puissances mises en jeu dans la simulation :

Bâtiments	Type Toiture	Nombres de modules PV	Puissance crête (kWc)	Nombres d'onduleurs	Puissance onduleurs (kWac)
Bureaux	Terrasse	480	144	2	140
PC	Terrasse	56	17	2	16
Entrepôt 3	Terrasse	380	114	1	100
Entrepôt 1 et 2	Terrasse	1260	378	3	300
Entrepôt 4	Terrasse	128	38	1	40
Entrepôt 5	Terrasse	264	79	1	70
Parkings Quais de Lutèce	Ombrières	1320	396	3	333
Parkings Q de L et H3H	Ombrières	2640	792	10	650
Parkings Cité Suspendue	Ombrières	1320	396	3	375
Oziris	Terrasse	60	18	2	16
Local maintenance Trace du Hourra	Terrasse	56	17	2	16
Menhir Express	Terrasse	192	58	1	50
Théâtre 4D	Terrasse	264	79	1	75
Théâtre du Barde 1	Terrasse	176	53	1	40
Théâtre du Barde 2	Terrasse	136	41	4	32
Théâtre de Panoramix	Terrasse	264	79	1	70
Défi de César	Terrasse	264	79	1	70
Boutiques entrées 1	Terrasse	64	19	2	16

<b>Boutiques entrées 2</b>	Terrasse	64	19	2	16
<b>Boutiques entrées 3</b>	Terrasse	88	26	2	24
<b>Boutiques entrées 4</b>	Terrasse	40	12	1	10
<b>Boutiques entrées 5</b>	Terrasse	252	76	1	65
<b>Boutiques entrées 6</b>	Terrasse	52	16	1	15
<b>Boutiques entrées 7</b>	Terrasse	44	13	1	12
<b>Total</b>		<b>9 864</b>	<b>2 959</b>	<b>49</b>	<b>2 551</b>

## 5.2.4 Traitement des résultats

Les résultats de la simulation ont permis d'obtenir les résultats suivants sur l'année :

	<b>Irradiation Globale Horizontale</b>	<b>Irradiation Diffuse Horizontale</b>	<b>Global incident plan capteurs</b>	<b>Global effectif</b>	<b>Energie effective sortie de champ</b>	<b>Energie injectée dans le réseau</b>
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh
<b>Janvier</b>	23,70	16,13	31,60	28,40	84 059	<b>82 291</b>
<b>Février</b>	39,20	26,86	47,00	42,60	126 215	<b>105 904</b>
<b>Mars</b>	90,80	47,42	106,50	97,30	280 651	<b>276 009</b>
<b>Avril</b>	130,70	70,95	141,40	129,40	365 510	<b>359 345</b>
<b>Mai</b>	153,10	88,33	155,60	142,30	396 135	<b>344 488</b>
<b>Juin</b>	168,90	86,79	169,50	155,40	422 612	<b>414 846</b>
<b>Juillet</b>	165,60	82,81	167,40	153,50	413 160	<b>405 423</b>
<b>Août</b>	145,30	74,27	154,20	141,30	383 694	<b>376 652</b>
<b>Septembre</b>	107,10	51,85	122,90	112,30	310 747	<b>305 206</b>
<b>Octobre</b>	61,00	38,09	73,00	66,30	188 966	<b>185 577</b>
<b>Novembre</b>	27,40	16,91	36,70	33,00	96 190	<b>94 191</b>
<b>Décembre</b>	21,20	13,14	30,40	27,20	80 104	<b>78 417</b>
<b>Année</b>	1134,00	613,54	1236,20	1128,70	3 148 043	<b>3 028 349</b>

Le résultat qui nous intéresse est l'énergie injectée dans le réseau qui correspond à l'énergie pouvant être récupérée en sortie d'onduleur. Ces résultats ont été confrontés aux estimations de consommations d'ici 2035 du parc qui ont été estimé à environ 25 000 000 kWh.

## 5.2.5 Modèle économique

Afin de proposer un modèle économique, plusieurs hypothèses ont été faites afin de quantifier l'investissement au début du projet :

	€/Wc	Investissement €HT
<b>Panneaux solaires</b>	0,8	2 367 000
<b>Raccordement et installations électriques</b>	0,23	681 000
<b>Structure et génie civil</b>	0,19	562 000
<b>Etudes / Maitrise d'œuvre / Divers</b>	0,19	562 000
<b>Raccordement au réseau Enedis</b>	0,05	148 000
<b>Frais fixes</b>	0,03	89 000
<b>Total</b>	<b>1,49</b>	<b>4 409 000</b>

D'autres hypothèses sur les coûts de fonctionnement et de maintenance ainsi que sur le coût de l'énergie ont été prises :

<b>Hypothèses générales</b>		
<b>Installation solaire photovoltaïque</b>		
<b>Puissance photovoltaïque</b>	<b>2 959 kWc</b>	
Puissance onduleur/transfo	550 kVA	
<b>Bilan énergétique</b>		
Production solaire PV [a]	3 000 MWh/an	
Productivité (par rapport à la puissance crête)	1 000 kWh/kWc	
Diminution productivité annuelle	0,4%	
Production solaire en INJECTION RESEAU [a1]	0 MWh/an	
<i>Taux prod. Solaire INJECTION</i>	0%	
Production solaire en AUTOCONSOMMATION [a2]	3 000 MWh/an	
<i>Taux prod. Solaire ACI ou ACC</i>	100%	
<b>Investissement</b>		
Centrale solaire (MAT+MO)	2 929 608	€ HT
Ingénierie et développement	292 961	€ HT
<b>INVESTISSEMENT TOTAL</b>	<b>4 409 000</b>	<b>€ HT</b>
Coût unitaire TOTAL	1,49	€ HT/Wc
<b>Charges d'exploitation annuelles</b>		
P2 - Entretien courant PV [p2]	6 000	€ HT / an
P2 - Maintenance postes transfo HTA/BT [p2]	3 000	€ HT / an
P2 - Télécontrôle PV [p2]	1 200	€ HT / an
P3 - Renouvellement (onduleurs)	220 450	€ HT
P3 - Provision annuelle du renouvellement [p3]	11 000	€ HT / an

<b>Autres charges annuelle</b>	
Location de terrain [m]	0 € HT / an
Frais de gestion, assurances [n]	15 200 € HT / an
TURPE VT (surcoût)	0 € HT / an
TURPE Autoconsommation (surcoût)	0 € HT / an
<b>Charges ponctuelles</b>	
Démantèlement [d]	29 600 € HT
Année du démantèlement	20 -ème année

<b>Hypothèses sur le financement</b>	
<b>INVESTISSEMENT</b>	<b>4 409 000 € HT</b>
Fond propre	30%
Fond propre [c1]	1 322 700 € HT
Montant de l'emprunt	3 086 300 € HT
Taux d'emprunt	3,50%
Durée de l'emprunt	20 Ans
P4 - Annuité constante [p4]	217 155 € HT/an
Cout de l'emprunt sur la durée de l'emprunt	1 256 808 € HT
<b>Coûts des énergies</b>	
<b>ACHAT ELEC : tarif moyen annuel *</b>	<b>173,31 € HT /MWh</b>

Ces hypothèses nous ont amené à pouvoir créer le modèle économique présenté dans le rapport.

\*Le prix de l'électricité a été calculé de la même façon que pour le réseau de chaleur. Le prix est donc évolutif entre 2023 et 2043 avec un prix moyen de 173,31 € HT du MWh.

## 6. Etude d'opportunité solaire thermique

---

Cette partie de l'étude a été réalisé par les personnes suivantes :

- Zoulikha CHERIF
- Alexandre GIROUD
- Julien DAGOIS

### 6.1 Méthodologie globale

L'étude d'opportunité solaire thermique sur le parc Astérix a été menée selon plusieurs phases qui seront décrites et expliquées dans ce document. Les grandes étapes de l'étude ont été les suivantes :

- Choix des sites ou une production solaire thermique peut être utile (consommation ECS) et pouvant accueillir les installations ;
- La définition des hypothèses quant aux surfaces, inclinaisons des modules solaire ;
- Etablissement des consommations mensuelles théoriques d'ECS par typologie de site ;
- Dimensionnement de la production solaire ;
- Le rassemblement et le traitement des résultats ;
- La construction d'un modèle économique afin d'étudier la rentabilité du projet

### 6.2 Méthodologie détaillée

#### 6.2.1 Choix des implantations

---

En premier lieu, nous avons évalué les bâtiments possédant des consommations d'ECS pouvant être couvertes par de la production solaire. Cette évaluation nous a amené à retenir les bâtiments aux typologies suivantes : restaurant, hôtel, maison des opérateurs.

Ensuite nous avons évalué la possibilité de mettre en place facilement une production collective (à l'échelle du bâtiment) pour la production d'ECS, les sites pour lesquels cela n'était pas possible ont été retiré de l'étude (c'est le cas des hôtels par exemple).

Pour finir l'encombrement et la présence d'ombre sur les toitures ont été pris en compte afin de définir une liste de sites pour lesquels il était pertinent de faire l'étude.

La liste des implantations existantes retenue est la suivante :

- Caius
- Cirque
- Croissant de Diane
- Faste de Rome

- Relais Gaulois
- Restaurant d'entreprise / sandwicherie
- Restaurant du Lac
- Restaurant Cité Suspendue
- Traiteur
- Maison des opérateurs

La liste des futures implantations retenues est la suivante :

- Grec – Service à Table
- Egypte – Kebab
- Ext H3H - Restaurant expérientiel
- 19<sup>ème</sup> Fast Food
- Nouvelle Halte – Food Court
- Seconde cantine du personnel
- H4 Restaurant 1 et 2
- Rue de Paris – Sandwicherie 1 et 2
- Nouveaux Hôtels (Extension H3H, H4, H5)

## 6.2.2 Hypothèses de modélisation

Pour chacune des implantations, une surface disponible pour les installations, et une inclinaison ont été définies :

Nom implantation	Surface brute (m <sup>2</sup> )	Surface disponible (m <sup>2</sup> )	Inclinaison
<b>EXISTANTS</b>			
Caius	337	236	20°
Cirque	122	85	20°
Croissant de Diane	92	64	20°
Faste de Rome	106	74	20°
Relais Gaulois	250	175	20°
Restaurant d'entreprise / sandwicherie	1301	911	20°
Restaurant du Lac	334	234	20°
Restaurant Cité Suspendue	605	424	20°
Traiteur	357	250	20°
Maison des opérateurs	1324	927	20°
<b>PROJETS</b>			
Grec – Service à Table	/	/	20°
Egypte – Kebab	/	/	20°
Ext H3H - Restaurant expérientiel	/	/	20°
19 <sup>ème</sup> Fast Food	/	/	20°
Nouvelle Halte – Food Court	/	/	20°
Seconde cantine du personnel	/	/	20°
H4 Restaurant 1	/	/	20°

<b>H4 Restaurant 2</b>	/	/	20°
<b>Rue de Paris – Sandwicherie 1</b>	/	/	20°
<b>Rue de Paris – Sandwicherie 2</b>	/	/	20°
<b>Ext H3H</b>	/	/	20°
<b>H4</b>	/	/	20°
<b>H5</b>	/	/	20°

La surface brute représente la surface pouvant être utilisée pour l'implantation d'installation solaire thermique.

La surface disponible représente la surface couverte par les panneaux solaires.

Un rapport de 0,7 pour les toitures et de 0,5 pour les ombrières a été pris afin de prendre en compte les différents éléments faisant perdre de la surface utile aux panneaux (passage à créer pour la maintenance, chemins de câbles...).

Une inclinaison de 20° a été choisie afin de limiter leurs visibilités dans le parc.

#### **Restaurants existants et projets**

Pour les sites présentés plus haut, une estimation des consommations en ECS a été faite en fonction des jours d'ouverture, du nombre de couverts de chaque restaurant et d'une présence de plonge.

##### Hypothèses :

- Consommation ECS par jour et par couvert si plonge (à 60°C) : 10 l
- Consommation ECS par jour et par couvert sans plonge (à 60°C) : 5 l

#### **Hotels existants et projets**

Pour les sites présentés plus haut, une estimation des consommations en ECS a été faite en fonction des jours d'ouverture et du nombre de chambre.

##### Hypothèses :

- Consommation ECS par jour et par chambre (60°C) : 150 l

#### **Laverie et douche**

##### Hypothèses :

- Consommation ECS par jour (60°C) : 2500 l

Ces estimations sont rapportées en m<sup>3</sup> / an (2035) grâce au calendrier d'ouverture donné par le parc Astérix.

L'établissement des besoins énergétiques par m3 ECS est fait par l'application d'un coefficient « qECS » sur la consommation en m3.

Nom implantation	Conso. ECS (m3/an)	Besoin énergie ECS (MWh/an)
Caius	1428	86
Cirque	1164	70
Croissant de Diane	117	7
Faste de Rome	3551	213
Relais Gaulois	1939	116
Restaurant d'entreprise / sandwicherie	1620	97
Restaurant du Lac	1253	75
Restaurant Cité Suspendue	405	24
Traiteur	405	24
Maison des opérateurs	675	41
Grec – Service à Table	2700	162
Egypte – Kebab	2025	122
Ext H3H - Restaurant expérientiel	4050	243
19ème Fast Food	2700	162
Nouvelle Halte – Food Court	8100	486
Seconde cantine du personnel	1620	97
H4 Restaurant 1	2700	162
H4 Restaurant 2	2700	162
Rue de Paris – Sandwicherie 1	1350	81
Rue de Paris – Sandwicherie 2	1350	81
Ext H3H	4374	262
H4	12150	729
H5	6075	365

### 6.2.3 Traitement des résultats

Le dimensionnement des installations solaire thermique se fait pour répondre à un objectif de 60% des besoins annuel pour limiter la production à 85% en été en évitant la surproduction qui peut être dommageable pour les panneaux.

Puis nous avons déterminé la surface nécessaire pour répondre à l'objectif à l'aide de la puissance fournie par 1 m2 de panneaux en découle le nombre de panneaux à installer.

Le volume des ballons est un résultat en rapport avec le nombre de panneaux installés.

Nom implantation	Objectifs production solaire (MWh/an)	Surface nécessaire (m2)	Nombre de capteurs installés	Production solaire réelle (MWh/an)	Volume ballon (L)
Caius	51,4	115	50	51,8	5 800
Cirque	41,9	94	37	38,3	4 300
Croissant de Diane	4,2	12	5	5,2	600
Faste de Rome	127,8	285	32	33,1	3 800
Relais Gaulois	69,8	156	68	70,4	7 900
Restaurant d'entreprise / sandwicherie	58,3	131	57	59,0	6 600
Restaurant du Lac	45,1	101	44	45,5	5 100
Restaurant Cité Suspendue	14,6	35	15	15,5	1 800
Traiteur	14,6	35	15	15,5	1 800
Maison des opérateurs	24,3	55	24	24,8	2 800
Grec – Service à Table	97,2	216	94	97,3	10 900
Egypte – Kebab	72,9	163	71	73,5	8 200
Ext H3H - Restaurant expérientiel	145,8	324	141	145,9	16 300
19ème Fast Food	97,2	216	94	97,3	10 900
Nouvelle Halte – Food Court	291,6	649	282	291,9	32 500
Seconde cantine du personnel	58,3	131	57	59,0	6 600
H4 Restaurant 1	97,2	216	94	97,3	10 900
H4 Restaurant 2	97,2	216	94	97,3	10 900
Rue de Paris – Sandwicherie 1	48,6	108	47	48,6	5 500
Rue de Paris – Sandwicherie 2	48,6	108	47	48,6	5 500
Ext H3H	157,5	352	153	158,4	17 600
H4	437,4	973	423	437,8	48 700
H5	218,7	488	212	219,4	24 400

## 6.2.4 Modèle économique

---

Afin de proposer un modèle économique, plusieurs hypothèses ont été faites afin de quantifier l'investissement au début du projet :

- Investissement pour la mise en œuvre de plusieurs installations d'une surface supérieure à 150 m<sup>2</sup> ;
- Consommation électrique des installations solaire thermique : 2% de la production ;
- Coût de maintenance et d'entretien des panneaux
- Prix MWh électrique

De plus des estimations de subvention ont été prise en compte : 60 % des investissements grâce au fond chaleur de l'ADEME

2 scénarios sont présentés : avec et sans subvention.



**SERMET**

1, Rue Séjourné  
94000 – Créteil

A l'attention de : Julien DAGOIS

Affaire n° : A22092      Suivi par : Chloé LECHAUDEL

Objet : Note d'opportunité géothermique pour la construction d'un centre aquatique et d'un complexe hôtelier au Parc Astérix

Dans le cadre de la construction d'un complexe hôtelier et d'un centre aquatique au Parc Astérix à Plailly (60), vous nous avez sollicité afin d'évaluer la pertinence d'une approche de géothermie.

Veillez trouver ci-joint notre note d'opportunité vis-à-vis d'une solution de géothermie. Pour rappel, il s'agit d'une note d'opportunité sommaire au stade concours. Il sera donc nécessaire de faire réaliser une étude de faisabilité géothermique préliminaire afin de valider nos hypothèses et les dispositifs à envisager.

Nous vous prions d'agréer, Monsieur, l'expression de nos sincères salutations.

Fait à **GRIGNY**, le **20/07/2022**

**Chloé LECHAUDEL**  
Ingénieure hydrogéologue et géothermicienne

STRATEGEO CONSEIL  
26 rue des Carriers Italiens  
91350 GRIGNY  
Tél : 01 75 30 25 20  
Fax : 01 69 06 08 64  
SIRET : 823 253 885 00029  
E-mail : info@stratego-conseil.fr

## 1 Objet et données

**Client** : SERMET

**Projet** : Construction d'un complexe hôtelier et d'un centre aquatique - Note d'opportunité géothermique

**Adresse du chantier** : Parc Astérix - Plailly (60)

A ce stade de l'étude, le projet prévoit la construction d'un complexe hôtelier au Parc Astérix à Plailly (60).

Les besoins du projet étant élevés, les scénarios présentés indiquent la couverture maximale réalisable en restant dans le cadre de la Géothermie de Minime Importance (GMI) ainsi que hors GMI, ce qui nécessite un permis minier.

Les besoins estimés du projet par le BET SERMET, au stade actuel, sont présentés dans le tableau suivant :

(1) *Besoins estimés du projet*

Mode	Puissance d'appel du bâtiment P bâtiment	Energie annuelle E bâtiment
Chauffage	Non transmise	11 GWh/an
Rafraichissement (Thermofrigopompe)	-	A définir

**Remarque :**

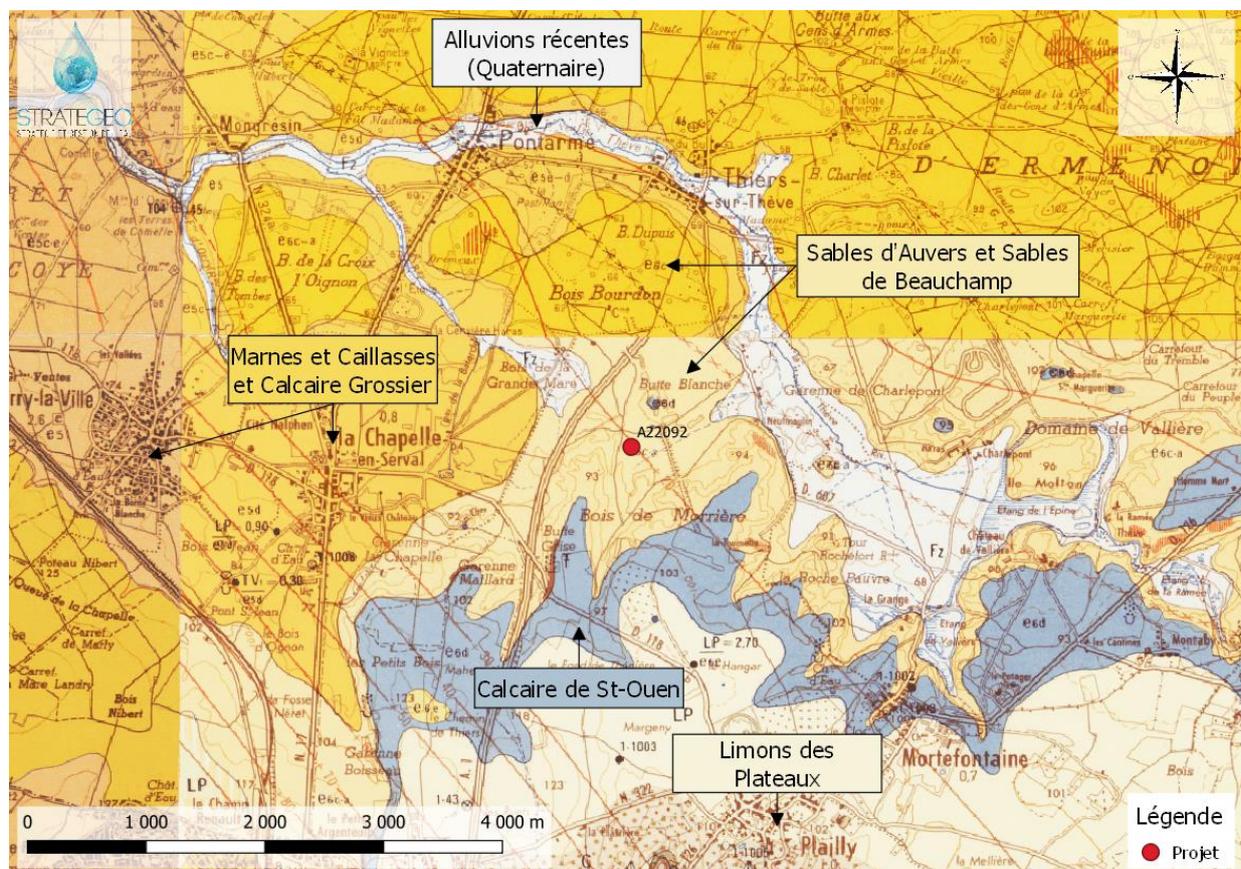
*L'approche proposée ne vaut pas étude de faisabilité. Elle a pour objectif de présenter les grandes lignes d'une installation de géothermie.*



## 2 Contexte géologique et hydrogéologique du site

### 2.1 Contexte géologique global

D'après la carte géologique de Dammartin-en-Goele (n°154) du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), le projet est situé dans un contexte de bordure de vallée, sur les Sables d'Auvers recouvrant les Marnes et Caillasses lutétiennes. Le site d'étude se place à une altitude comprise entre +62 et +69 m NGF.



(2) Localisation du site sur fond de carte géologique (BRGM).

D'après les données bibliographiques disponibles sur le secteur, il est possible de définir la coupe géologique suivante au droit du projet :

(3) *Succession lithologique au droit du site*

Age	Formation	Lithologie	Cote du toit (m NGF)	Profondeur du toit (m)	Epaisseur (m)
Eocène moyen (Auversien)	Sables d'Auvers	Sable fin	+69	0	8
Eocène moyen (Lutétien supérieur)	Marnes et Caillasses lutétiennes	Calcaire gris à passées marneuses	+61	8	13,5
Eocène moyen (Lutétien moyen)	Calcaire Grossier	Calcaire gris-verdâtre de plus en plus sableux et glauconieux vers la base	+47,5	21,5	14,5
Eocène moyen (Lutétien inférieur)	Calcaire Grossier Glauconieux d'Ile-de-France	Grès moyen calcaire à glauconie	+33	36	3,5
	Glauconie Grossière	Sable grossier gris à glauconie	+29,5	39,5	1
Eocène inférieur (Yprésien : Cuisien)	Argiles de Laon	Argile silto-sableuse brune à lignite	+28,5	40,5	5,5
	Sables de Cuise	Sable fin à moyen gris à gris-verdâtre plus ou moins argileux	+23	46	18,5
		Alternance de sable fin à moyen gris et d'argile grise à verdâtre	+4,5	64,5	42,5
Eocène inférieur (Yprésien : Sparnacien)	Sables de Sinceny	Argile grise plus ou moins foncée à lignite	-38	107	5
	Sables et argiles à lignites du Soissonnais	Sable grossier glauconieux	-43	112	10
	Argile plastique	Argile et sable	-53	122	4,5
Campanien		Craie	-57,5	126,5	>24

*Aquifère à nappe libre ou captive selon la localisation*

*Aquifère à nappe captive*

## 2.2 Contexte hydrogéologique

L'analyse du contexte géologique proposé au paragraphe précédent permet d'identifier les horizons potentiellement aquifères présents au droit du projet suivants :

- La **nappe du Lutétien** contenue dans les calcaires grossiers du Lutétien (Calcaire Grossier et Calcaire Grossier Glauconieux) voire dans les Marnes et Caillasses lutétiennes, et dont le niveau varie en fonction des précipitations tombant sur l'ensemble de son bassin versant à l'échelle régionale.

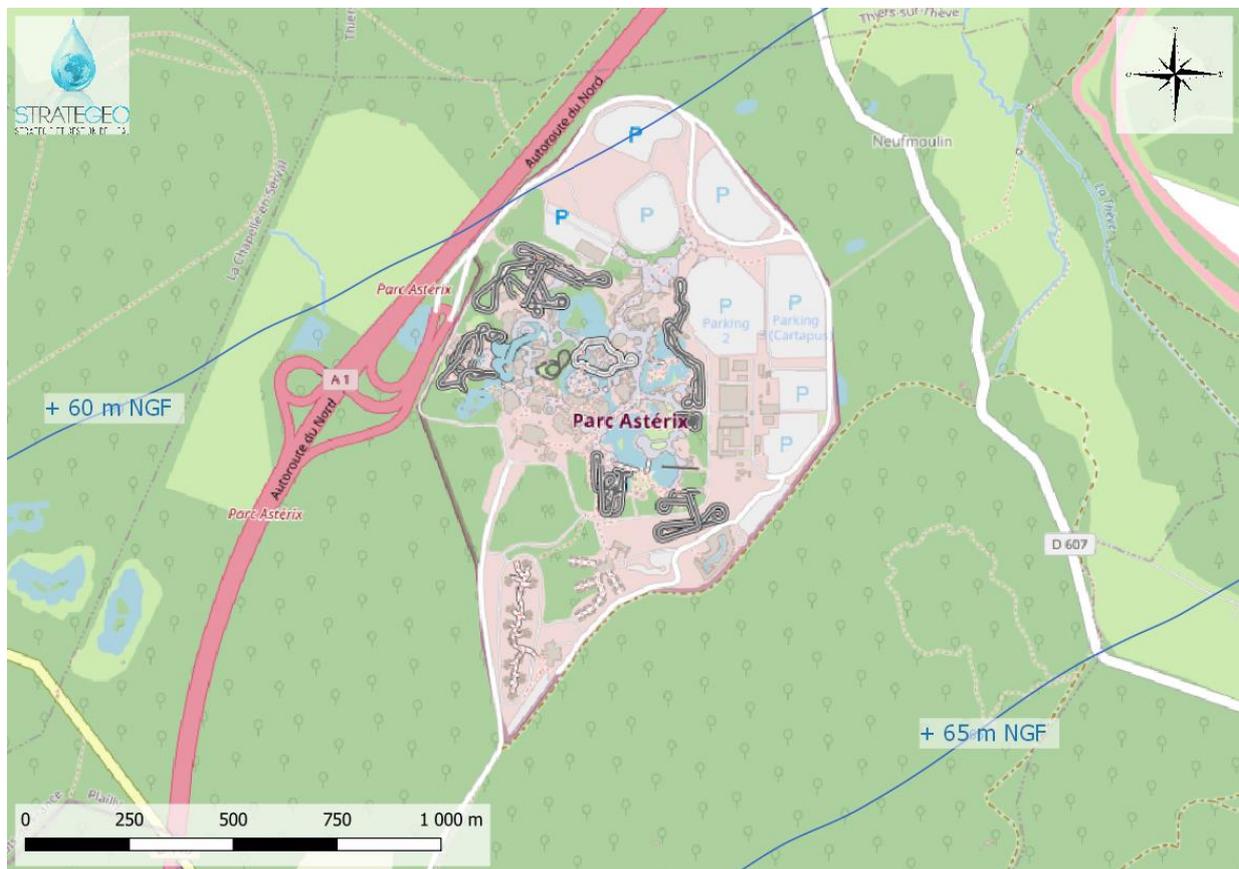


- La **nappe captive de l'Yprésien**, abritée par les niveaux sableux reposant sur les Argiles plastiques et recouverts par les Argiles de Laon (Sables de Cuise et Sables du Soissonnais).

Les données dans le secteur d'étude indiquent des forages captant parfois ces deux nappes simultanément. Ainsi, ces informations ne permettent d'identifier avec certitude l'aquifère d'où provient l'eau présente au droit du site. Dans la suite de cette étude, les deux nappes seront donc envisagées, et il conviendra lors d'une phase de reconnaissance, d'identifier plus précisément les arrivées d'eau avant de poursuivre le projet.

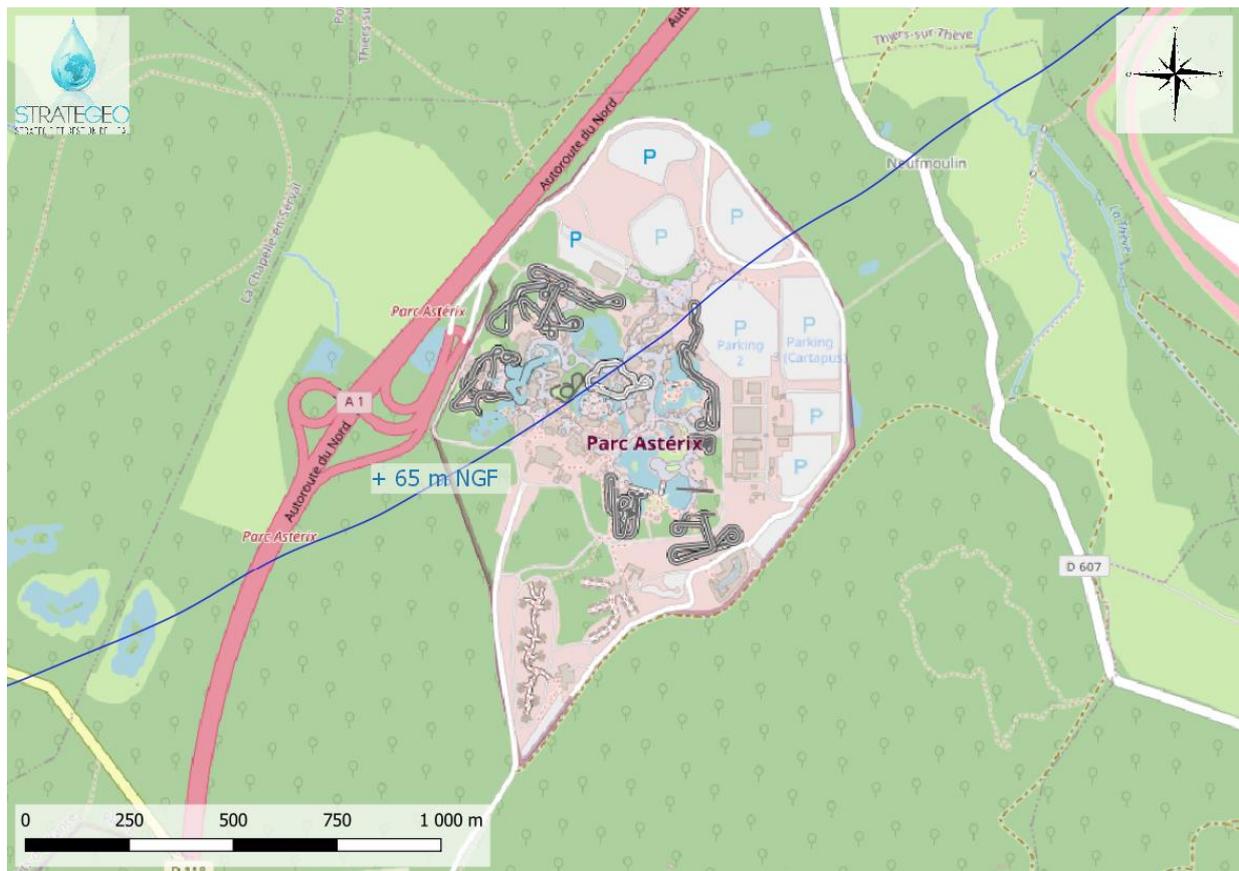
### 2.2.1 Piézométrie

Les cartes piézométriques issues du Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines (SIGES) en Seine-Normandie indiquent un niveau d'eau au droit du site entre +60 et +65 m NGF pour la nappe du Lutétien et d'environ +65 m NGF pour la nappe de l'Yprésien.



(4) Carte piézométrique de la nappe du Lutétien au droit du site d'étude





(5) Carte piézométrique de la nappe de l'Yprésien au droit du site d'étude

### 2.2.2 Paramètres hydrodynamiques

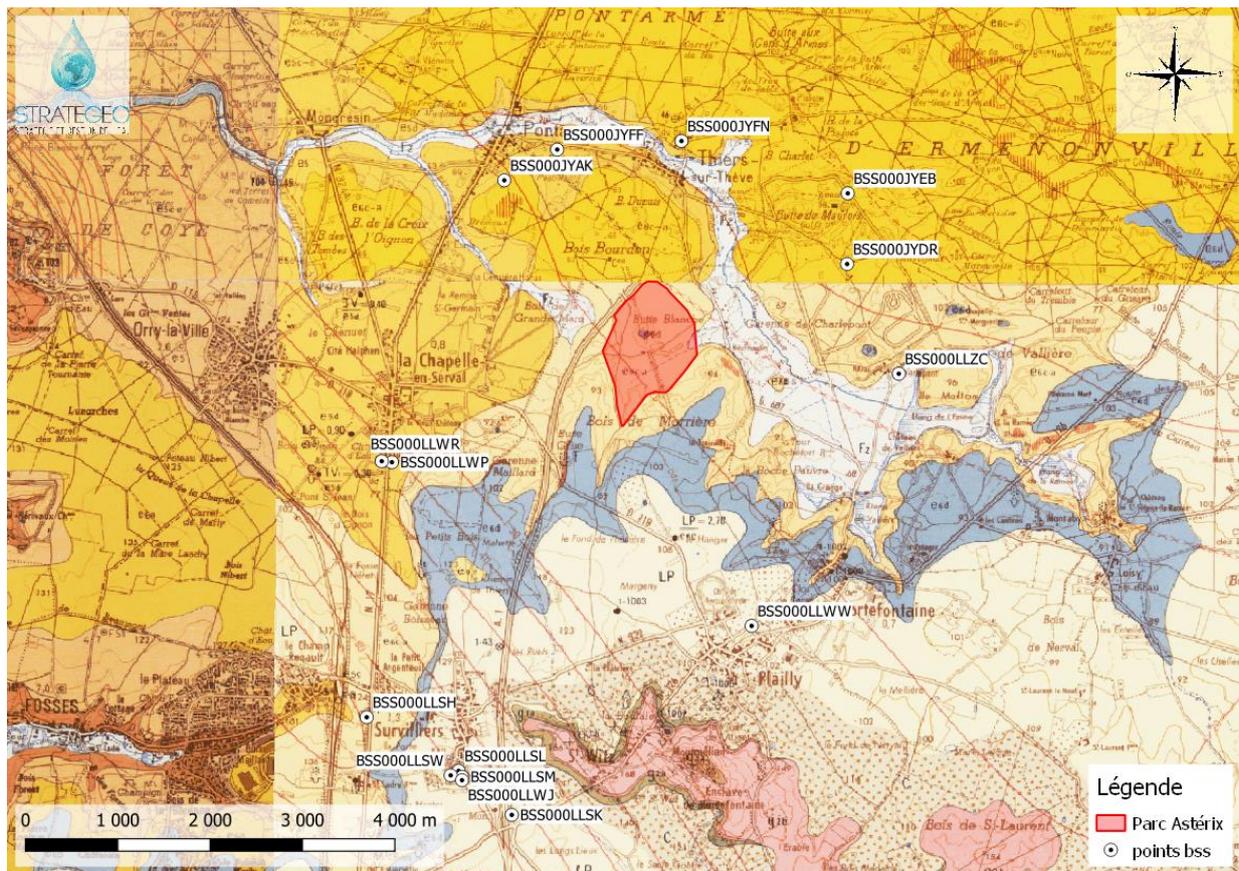
Les ouvrages recensés dans la Banque du Sous-Sol (BSS) du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) aux alentours du projet permettent d'estimer les paramètres hydrodynamiques des nappes présentes. Comme évoqué précédemment, certains ouvrages captent la nappe du Lutétien et la nappe de l'Yprésien, les paramètres hydrodynamiques de ces deux nappes ne peuvent donc pas être dissociés pour l'instant. Les ouvrages utilisés pour nos estimations sont présentés dans le tableau et la figure suivants :

(6) *Tableau des paramètres hydrodynamiques dans les ouvrages de la BSS proches du projet*

Identifiant BSS	Hauteur captée (m)	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Débit spécifique (m <sup>3</sup> /h/m)	Transmissivité (m <sup>2</sup> /s)	Perméabilité (m/s)
BSS000JYAK	17,40	5,57	0,36	9,91.10 <sup>-5</sup>	5,69.10 <sup>-6</sup>
BSS000JYFF	40,00	60	8,13	2,26.10 <sup>-3</sup>	5,65.10 <sup>-5</sup>
BSS000JYFN	16,00	8	2,00	5,56.10 <sup>-4</sup>	3,47.10 <sup>-5</sup>
BSS000JYDR	13,80	111	16,89	4,69.10 <sup>-3</sup>	3,40.10 <sup>-4</sup>
BSS000LLWP	20,00	45	5,47	1,52.10 <sup>-3</sup>	7,60.10 <sup>-5</sup>
BSS000LLWR	58,50	10	2,00	5,56.10 <sup>-4</sup>	9,50.10 <sup>-6</sup>
BSS000LLZC	16,00	20	2,06	5,73.10 <sup>-4</sup>	3,58.10 <sup>-5</sup>
BSS000JYEB	20,00	22	0,83	2,30.10 <sup>-4</sup>	1,15.10 <sup>-5</sup>
BSS000LLWW	14,00	40	1,83	5,07.10 <sup>-4</sup>	3,62.10 <sup>-5</sup>
BSS000LLSH	25,00	22	2,93	8,15.10 <sup>-4</sup>	3,26.10 <sup>-5</sup>
BSS000LLSL	87,25	8	0,62	1,71.10 <sup>-4</sup>	1,96.10 <sup>-6</sup>
BSS000LLSM	42,10	30	1,97	5,48.10 <sup>-4</sup>	1,30.10 <sup>-5</sup>
BSS000LLSW	29,07	22	2,59	7,19.10 <sup>-4</sup>	2,47.10 <sup>-5</sup>
BSS000LLWJ	37,51	32,7	1,81	5,02.10 <sup>-4</sup>	1,34.10 <sup>-5</sup>
BSS000LLSK	34,80	5	2,00	5,56.10 <sup>-4</sup>	1,60.10 <sup>-5</sup>
<b>Moyenne géométrique</b>	26,91	20,42	2.17	6,03.10 <sup>-4</sup>	2,24.10 <sup>-5</sup>
<b>Médiane</b>	25,00	22	2,00	5,56.10 <sup>-4</sup>	2,47.10 <sup>-5</sup>

Un débit spécifique de 2,00 m<sup>3</sup>/h/m et une perméabilité moyenne des terrains de 2,5.10<sup>-5</sup> m/s seront donc retenus pour ces nappes sans toutefois pouvoir les différencier à ce stade.





(7) Localisation des ouvrages de la BSS étudiés sur fond de carte géologique

Ainsi, au vu des épaisseurs de chaque aquifère, il peut être estimé les débits de productivité suivants :

(8) Tableau des estimations de débits de production maximaux

Nappe	Débit spécifique (m <sup>3</sup> /h/m)	Hauteur admissible (m)	Débit de pointe en production (m <sup>3</sup> /h)
Lutétien	2,00 m <sup>3</sup> /h/m	~20-25 m	~40-50 m <sup>3</sup> /h
Yprésien			

Il est important de noter que les débits de production ne sont pas toujours égaux aux débits d'injection. Ici, les niveaux statiques des nappes sont proches de la surface, ce qui peut limiter la capacité d'injection des forages. De plus, certaines lithologies rendent difficile l'injection d'eau, c'est le cas notamment des sables fins de l'Yprésien présents. Pour pallier ces limitations, il est possible de mettre en place deux forages injecteur, pour un forage producteur.

**Nous proposons ainsi de retenir un dispositif de triplet de forage comprenant un forage de pompage et 2 forages injecteurs pour un débit mobilisable proche de 50 m<sup>3</sup>/h.**  
**La profondeur de l'ouvrage reste toutefois à confirmer ainsi que l'horizon à capter.**



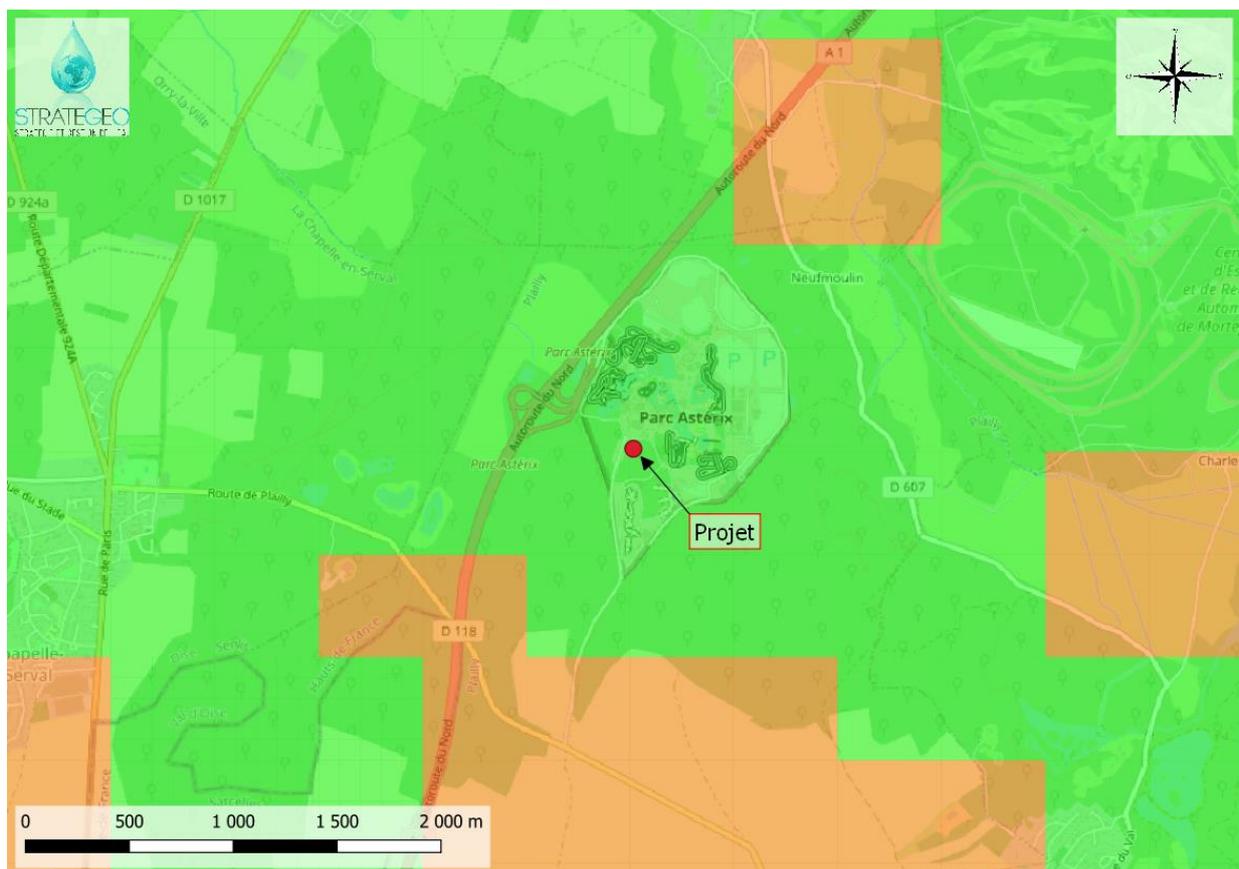
### 3 Opportunité géothermique du projet

#### 3.1 Potentiel géothermique du site

D'après la cartographie de la Géothermie Minime Importance (GMI) du BRGM, le site se situe en zone verte : Eligible à la GMI pour la mise en œuvre d'une géothermie sur nappe.

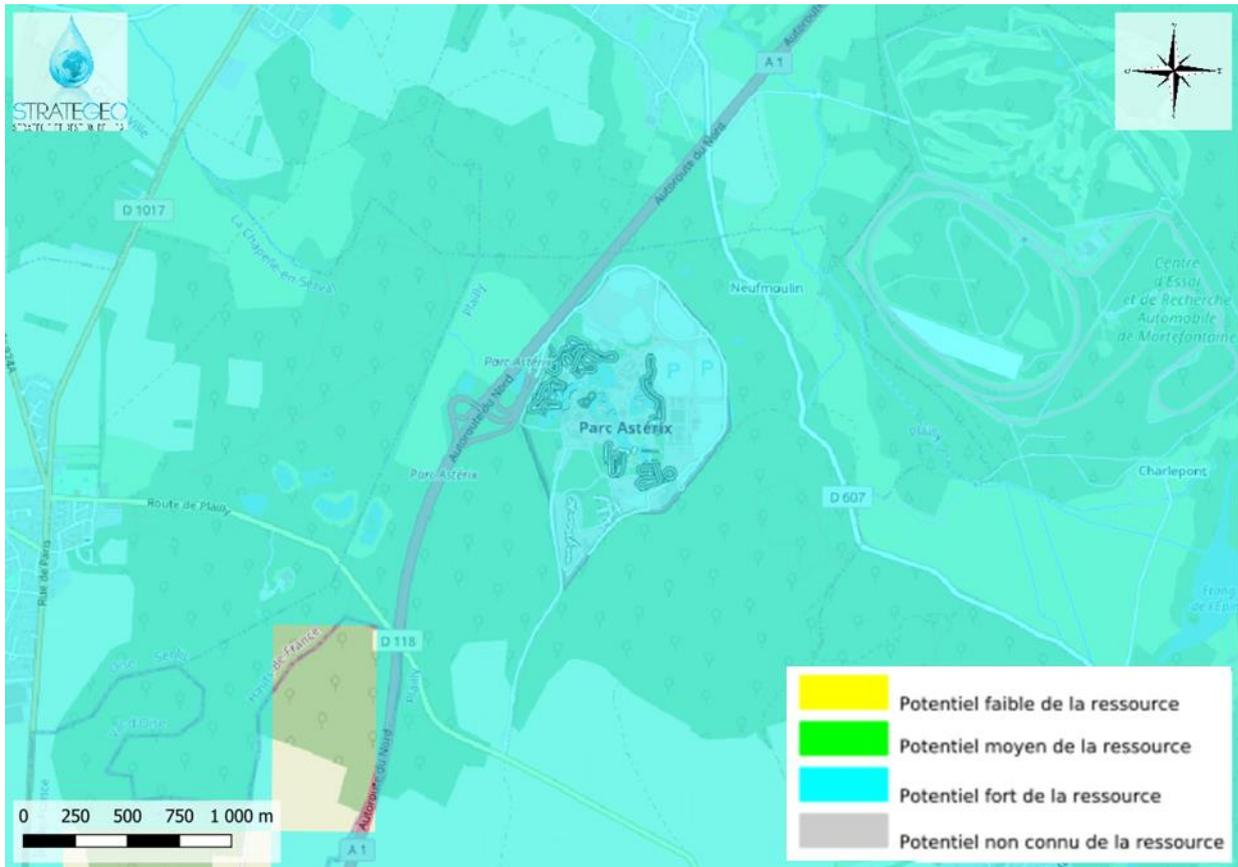
Les projets sont considérés comme relevant du régime de la minime importance (soumis à déclaration au titre du Code minier) s'ils remplissent les conditions suivantes :

- La profondeur des forages est inférieure à 200 mètres ;
- La puissance thermique récupérée dans l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW ;
- La température du fluide circulant dans les sondes ne devra pas descendre sous  $-3^{\circ}\text{C}$  et dépasser les  $40^{\circ}\text{C}$ .



(9) *Extrait de l'Atlas du potentiel géothermique. (Géothermies.fr)*

De plus, la cartographie du site Geothermies.fr indique un fort potentiel dans le secteur, pour les nappes du Lutétien et de l'Yprésien, comme l'indique la figure suivante :



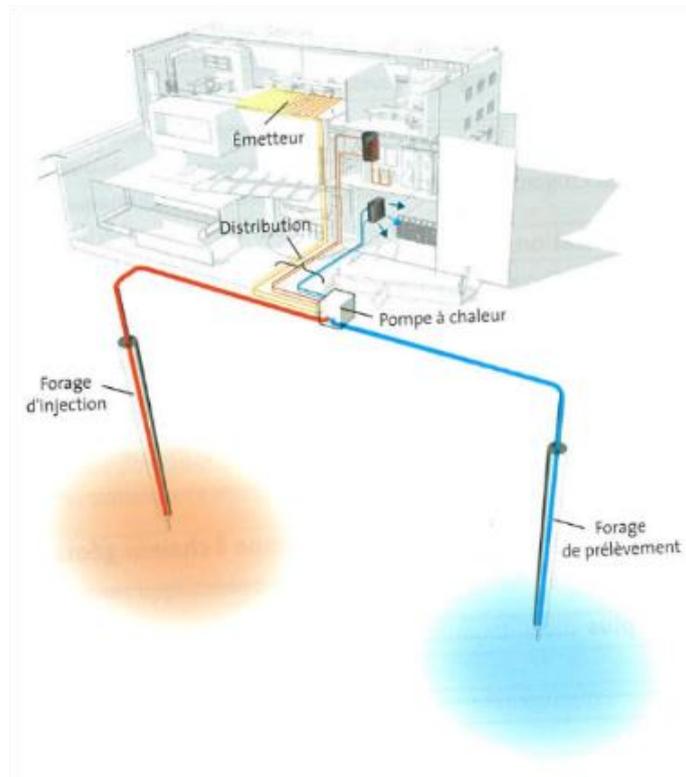
(10) Carte du potentiel géothermique dans le secteur, d'après [Géothermies.fr](http://Géothermies.fr)

### 3.2 Type de géothermie retenue

Le principe de la géothermie sur aquifère consiste à exploiter l'énergie disponible de manière permanente au sein d'une nappe d'eau souterraine.

L'eau souterraine est prélevée par l'intermédiaire d'un ou plusieurs forages de pompage. Elle est ensuite acheminée vers la pompe à chaleur (PAC), qui prélèvera les calories ou les frigorifiques au travers d'un échangeur à plaques. L'eau est ensuite réinjectée dans le même aquifère par l'intermédiaire d'un ou plusieurs forages de réinjection (d'après le guide technique « Les pompes à chaleur géothermiques à partir de forage sur aquifère – Manuel pour la conception et la mise en œuvre » – BRGM, 2012).





(11) Schéma du principe de la géothermie sur aquifère (BRGM, 2012)

Les principaux avantages d'un système géothermique sur nappe sont :

- *La stabilité en termes de rendement* : lorsqu'ils sont correctement dimensionnés, les systèmes géothermiques sur nappe sont plus **performants** que les systèmes aérothermiques, du fait des variations moindres de la température de la source d'énergie utilisée (coefficient de performance de 4/5 même au plus froid de l'hiver contre 2 à 2,5 pour de l'aérothermie) ;
- *Des pertes thermiques dans le réseau hydraulique limitées* du fait de l'utilisation de la basse température ;
- *L'aspect écologique permettant de valoriser une énergie renouvelable présente dans le sous-sol au droit même du projet* ;
- *La flexibilité* dans son fonctionnement et sa capacité à satisfaire une grande quantité de besoins énergétiques annuels, ce qui permet de réduire fortement les consommations électriques liées aux besoins de chauffage ou de rafraîchissement ;
- *L'absence d'impact visuel*, avec des ouvrages entièrement situés en sous-sol ou dans des locaux techniques, permet à la géothermie de s'intégrer parfaitement dans tous les types de configurations architecturales et notamment dans les bâtiments soumis à la réglementation des monuments historiques.



### **3.3 Préfiguration de la solution de géothermie sur nappe**

Les besoins énergétiques et les taux de couverture sont en cours d'évaluation par le BET SERMET. Toutefois, il est possible de prévoir plusieurs scénarii de géothermie allant d'un triplet à 2 à 3 triplets pour augmenter la capacité de la géothermie.

Ainsi, les configurations pourront être les suivantes :

- 💧 *Un triplet de forage entre 45 et 115 m de profondeur en fonction de l'horizon à capter pour un débit mobilisable de 45-50 m<sup>3</sup>/h avec une nappe à 12,5°C ;*
- 💧 *Deux triplets de forage entre 45 et 115 m de profondeur en fonction de l'horizon à capter pour un débit total mobilisable de 90-100 m<sup>3</sup>/h avec une nappe à 12,5°C ;*
- 💧 *Trois triplets de forage entre 45 et 115 m de profondeur en fonction de l'horizon à capter pour un débit total mobilisable de 130-150 m<sup>3</sup>/h avec une nappe à 12,5°C ;*

**Remarque :**

*Seule la réalisation d'un forage de reconnaissance et des essais pourront permettre de valider le débit d'exploitation disponible pour le système géothermique.*

*Afin de rester dans le cadre de la Géothermie de Minime Importance (GMI), la puissance thermique récupérée dans l'ensemble de l'installation géothermique doit être inférieure à 500 kW. Au-delà de cette puissance, un permis minier est nécessaire pour la mise en place du système. Ici, l'estimation réalisée avec deux triplets à 100% de leur capacité dépasse ce cadre de la GMI.*



## 4 Evaluation budgétaire de la solution de géothermie

L'évaluation des coûts d'investissement pour les scénarios sur champs de sondes est récapitulée dans le tableau suivant (hors coût d'une pompe à chaleur, circulateur, échangeur à plaques, boucle géothermique et génie civil) :

(12) *Evaluation des coûts d'investissement pour le projet – Géothermie sur sondes*

Désignation	1 triplet 45-50 m <sup>3</sup> /h	2 triplets 90-100 m <sup>3</sup> /h	3 triplets 130-150 m <sup>3</sup> /h
<b>Profondeur considérée des forages : 115 m</b>			
<b>Campagne de reconnaissance préalable en faisabilité</b>			
Reconnaissance géologique à 115 m avec Gamma ray et résistivité	16 000 € HT		
Démarche administrative pour la reconnaissance	3 500 € HT		
2 <sup>ème</sup> campagne avec forage de reconnaissance avec pompage	60 à 80 K€ HT		
MOE géologique et hydrogéologique	8 000 € HT		
Etude de faisabilité-DIAG géothermique	15 000 € HT		
<b>TOTAL reconnaissance</b>	<b>103 à 123 K€ HT</b>		
<b>Coûts global d'investissement (HT)</b>			
Réalisation des forages à 115 m de profondeur	390 à 420 K€ HT	790 à 840 K€ HT	1 180 à 1 260 K€ HT
Raccordement des forages Canalisation PEHD Fourniture électrique CFO Fibre de connexion	A définir Linéaire à prévoir environ 180-250 ml	A définir Linéaire à prévoir environ 200-250 ml	A définir Linéaire à prévoir environ 280-350 ml
Chambres enterrées bétons (hors carrossable PL)	45 K€ HT	85 K€ HT	120 K€ HT
Equipement des forages (hors armoire de régulation par forage)	120 K€ HT	220 K€ HT	330 K€ HT
Equipement en local (filtration, commande, comptage...)	60 K€ HT	90 K€ HT	115 K€ HT
<b>TOTAL Investissement* + aléa de 5% (hors reconnaissance)</b>	<b>640 à 680 K€ HT</b>	<b>1 240 à 1 300 K€ HT</b>	<b>1 830 à 1 920 K€ HT</b>
Subvention possible (à vérifier)	A définir – environ 40% du coût de la géothermie		
Coût MOE sous-sol (APD, PRO, DCE, ACT, DET, OPR)	70 K€ HT	130 K€ HT	180 K€ HT
Montage dossier minier PERDOTEX	-	25 K€ HT	25 K€ HT

\* Hors Coût de raccordement des puits, l'alimentation électrique et contraintes particulières du site

