

MISSION GRANDS EQUIPEMENTS D'ORLEANS AGGLO & MAIRIE

Projet de restructuration du Parc des
Expositions / Zénith de
l'agglomération d'Orléans (45)

Etude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables

Rapport

Réf : CICEIF160780 / RICEIF00354

MADE / MCN / MCS

04/05/2016









MISSION GRANDS EQUIPEMENTS D'ORLEANS AGGLO & MAIRIE

Projet de restructuration du Parc des Expositions / Zénith de l'agglomération d'Orléans (45)

Etude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables

Ce rapport a été rédigé avec la collaboration de :

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
Rapport initial volet 1	04/05/2016	01	M. DECQUE		M. COHEN		M. CLAUD	
Rapport final	11/06/2016	02	M. DECQUE		M. COHEN		M. CLAUD	

Numéro de contrat / de rapport :	Réf : CICEIF160780 / RICEIF00354
Numéro d'affaire :	A40729
Domaine technique :	ER07
Mots clé du thésaurus	ENERGIE RENOUVELABLE

Agence Loire-Bretagne – site de Tours
 8, 10, 12, rue du docteur Herpin / 37000 – TOURS
 Tél : 02.47.75.25.45 - Fax : 02.47.75.02.07
agence.de.tours@burgeap.fr



Réf : CICEIF160780 / RICEIF00354	
MADE / MCN / MCS	
04/05/2016	Page 2/51

1. Résumé non technique à l'attention des décideurs

La présente étude a pour objet d'étudier la faisabilité du potentiel de développement en énergies renouvelables du projet d'aménagement du site des futurs Parc des Expositions et salle sportive d'Orléans (45). Elle répond à l'obligation réglementaire issue de l'article L128-4 du code de l'Urbanisme, qui prévoit qu'une telle étude accompagne tout projet d'aménagement soumis à étude d'impact.

Cette mission se déroule en deux temps :

- **Un volet diagnostic**, qui comprend :
 - L'analyse de besoins du projet en chaud et en froid, estimés à 860 MWh/an pour le chauffage, 85 MWh/an pour l'eau chaude sanitaire et à 360 MWh pour le froid.
 - Une analyse du potentiel en énergies renouvelables du site, qui a permis d'identifier la pertinence du recours à l'aérothermie, au solaire thermique, à la géothermie sur nappe.
 - Le raccordement au réseau de chaleur du quartier de la Source a également été étudié. Il pourra être envisagé dans le cas d'une extension future du réseau existant vers des consommateurs potentiels identifiés.
- **Un volet pré faisabilité**, qui compare deux scénarios « renouvelables » avec un scénario plus conventionnel, selon des critères techniques, économiques et environnementaux :

<ul style="list-style-type: none"> • Scénario Econv : chaudière gaz et groupe froid 	
<ul style="list-style-type: none"> • Scénario ENR 0 : production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire avec des pompes à chaleur réversibles. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Scénario ENR 1 : même scénario mais avec production partielle d'eau chaude sanitaire via des panneaux solaires thermiques. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Scénario ENR 2 : micro réseau interne avec recours à des pompes à chaleur géothermiques sur nappe pour la production de chaud et froid, et chaudière gaz et groupe froid en appoint. 	

Cette analyse a permis de mettre en avant que les dispositifs de production d'énergies renouvelables permettaient un coût de fonctionnement réduit par rapport au scénario conventionnel mais un investissement initial plus important. La production de chaud et de froid grâce à la géothermie sur nappe rend le scénario ENR 2 très pertinent pour le projet.

Le réseau de chaleur urbain du quartier de la Source étant éloigné (plus de 3km au sud-est) le raccordement n'est pas pertinent actuellement. Cependant des consommateurs potentiels ont été identifiés en cas d'extension afin d'atteindre une densité thermique suffisante.

En termes d'impact environnemental, les émissions de gaz à effet de serre sont fortement réduites par rapport au scénario conventionnel. Elles sont divisées respectivement par 7, 9 et 3 dans les scénarios ENR0, ENR1 et ENR 2, sur le moyen et long terme à l'échelle du projet. Les émissions de déchets radioactifs sont semblables dans les différents scénarios excepté le scénario ENR0 où elles sont plus importantes du fait de l'utilisation des pompes à chaleur électriques à air.

SOMMAIRE

1.	Résumé non technique à l'attention des décideurs	3
2.	Introduction.....	6
2.1	La (petite) histoire des hydrocarbures	6
2.2	Effet de serre, réchauffement planétaire et changements climatiques.....	7
2.3	Notre vision de la problématique énergétique	8
2.4	Contexte réglementaire	9
3.	Méthodologie	10
4.	Caractéristiques du projet	12
4.1	Périmètre d'étude.....	12
4.2	Données collectées et scénario d'aménagement.....	13
4.3	Caractérisation des besoins.....	14
5.	Analyse du potentiel en Energies Renouvelables et de Récupération	17
5.1	L'énergie hydraulique	17
5.2	L'énergie solaire.....	18
5.3	L'énergie éolienne	22
5.4	La combustion de biomasse	23
5.5	Le biogaz.....	25
5.6	La géothermie.....	26
5.7	L'aérothermie.....	33
5.8	La cogénération	33
5.9	Les réseaux de chaleur ou de froid	34
5.10	Synthèse de l'analyse de potentiel en EnR	37
6.	Conclusions intermédiaires : scénarios énergétiques retenus.....	39
7.	Besoins de puissance	41
7.1	Scénario Econv	41
7.2	Scénario EnR 1	42
7.3	Scénario EnR 2	42
8.	Analyse multicritère des scénarios retenus	43
8.1	Coûts d'investissements.....	43
8.2	Coût global annualisé	44
9.	Conclusion.....	47
	Annexe 1 : Fiche de cas de géothermie sur nappe en Loiret.....	50

FIGURES

Figure 1 : consommation énergétique mondiale en million de tonnes équivalent pétrole de 1860 à nos jours (source : Schilling & al., AIE, BP statistical review et Observatoire de l'Energie).....	6
Figure 2 : l'histoire très résumée du pétrole conventionnel	7
Figure 3 : évolution de la température moyenne planétaire (°C) selon émissions (source : GIEC, AR4)	7
Figure 4 : évolution de température moyenne pour le scénario A1B (Source : GIEC, AR4)	8
Figure 5 : Localisation du projet.....	12
Figure 6 : besoins en énergie thermique et électrique pour les bâtiments du projet.....	16
Figure 7 : ensoleillement moyen annuel en kWh/m ² /an à Orléans (source : PVGIS).....	18
Figure 8 : vue aérienne du site par le sud (source : Google Street)	19
Figure 9 : Schéma de la course du soleil au niveau du projet suivant la période de l'année.....	19
Figure 10 : éligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur nappe.....	28
Figure 11 : éligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur sondes (source : géothermie perspectives)	28
Figure 12 : Puissance thermique disponible dans les nappes - Hypothèse basse, exprimée en KW thermique, pour 6 °C de puisement sur la ressource. Source : BRGM - Atlas des ressources géothermales des aquifères superficielles en région Centre.....	29
Figure 13 : potentiel géothermique de la région d'Orléans (source : géothermie perspectives).....	30
Figure 14 : potentiel géothermique des aquifères au niveau du site (source : géothermie perspectives)	30
Figure 15 : Schémas de fonctionnement d'une PAC réversible en été et en hivers (source : géothermie perspective).....	31
Figure 16 : Principe de fonctionnement d'un puit climatique (source : ADEME /ADG).....	32
Figure 17 : plan du réseau de chaleur urbain centre-ville/nord d'Orléans (source : SODC)	34
Figure 18 : Tracé potentiel pour raccorder le site au réseau de chaleur de la Source et potentiel de livraison de chaleur en réseau (MWh), source : Equitée (à gauche) et consommateurs de chaleur potentiels (à droite).....	36
Figure 19 : coût global annualisé des scénarios retenus (en k€/an sur 20 ans) pour une augmentation du prix des énergies conventionnelles de 2%/an	45
Figure 20 : coût global annualisé des scénarios retenus (en k€/an sur 20 ans) pour une augmentation du prix des énergies conventionnelles de 4%/an	45
Figure 21 : comparatif environnemental (GES, particules et déchets radioactifs) des scénarios retenus.....	46

TABLEAUX

Tableau 1 : Objectifs régionaux de développements des EnR à horizon 2020 et 2050, source : SRCAE Centre	14
Tableau 2 : besoins des bâtiments du projet (en MWh/an)	15
Tableau 3: besoins du PEX en fonction de l'occupation (MWh/an)	16
Tableau 4 : tarifs d'achat de l'électricité PV pour le 2 ^{ème} trimestre 2016 en fonction de la puissance installée et du type d'intégration	21
Tableau 5 : synthèse de l'analyse du potentiel du site en énergies renouvelables et de récupération.....	37
Tableau 6 : coûts estimés des équipements de production énergétique	43
Tableau 7 : synthèse du comparatif des différents scénarios.....	48

2. Introduction

L'analyse préliminaire de faisabilité du potentiel de développement des énergies renouvelables (EnR) est initiée avec les premières étapes d'un projet d'aménagement.

Cette analyse doit permettre :

- d'identifier les énergies renouvelables ayant un potentiel de développement à l'échelle de l'opération d'aménagement dès l'avant-projet afin de prévoir leur intégration ;
- de savoir si les projets d'approvisionnement énergétiques associés à ces énergies sont réalisables ;
- d'évaluer les conditions de leur rentabilité.

Il s'agit donc de faire émerger, selon une analyse multicritère (technologie, contraintes de mise en œuvre, investissement, coût global, coût environnemental, etc.), les projets les plus pertinents pour maximiser la part d'énergies renouvelables dans le mix énergétique d'approvisionnement de l'aménagement.

Pour les scénarios d'approvisionnement jugés pertinents (à la suite de l'étude de faisabilité du potentiel de développement des énergies renouvelables), le maître d'ouvrage peut alors procéder à une étude de faisabilité qui fournit avec plus de détails les capacités du gisement, les coûts et les bénéfices du ou des scénarios d'approvisionnement retenus. Si l'intérêt de ces scénarios est confirmé, suivent les étapes de conception et d'ingénierie. Pour les grands projets, ces dernières étapes comprennent des activités de développements, consacrées aux ententes de financement du projet et à l'obtention de tous les permis nécessaires à sa réalisation. Enfin seulement arrive la construction puis la mise en service du projet.

Le présent rapport constitue un guide à destination de l'aménageur présentant les possibilités et le potentiel d'approvisionnement en EnR pour l'aménagement des futurs Parc des expositions et salle sportive d'Orléans. Après un bref rappel des enjeux énergétiques et climatiques à la base des évolutions de la réglementation, nous détaillerons la méthodologie que nous avons appliquée à ce projet.

2.1 La (petite) histoire des hydrocarbures

Les hydrocarbures que nous utilisons ont été constitués à partir de matière organique sédimentée principalement lors du carbonifère (il y a 300 millions d'années). Ils sont utilisés significativement depuis la révolution industrielle, soit le XIX^e siècle :

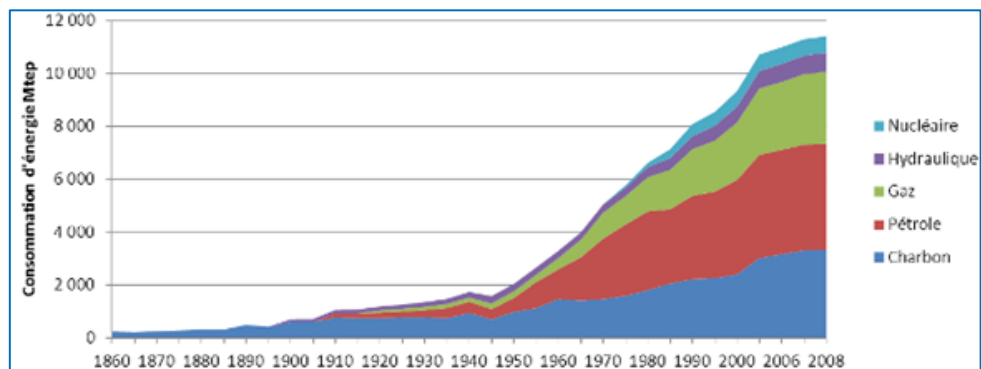


Figure 1 : consommation énergétique mondiale en million de tonnes équivalent pétrole de 1860 à nos jours (source : Schilling & al., AIE, BP statistical review et Observatoire de l'Energie)

Les réserves ultimes en pétrole conventionnel étant limitées, les découvertes de nouveaux champs ne peuvent continuer indéfiniment. L'histoire des hydrocarbures conventionnels peut se résumer ainsi :

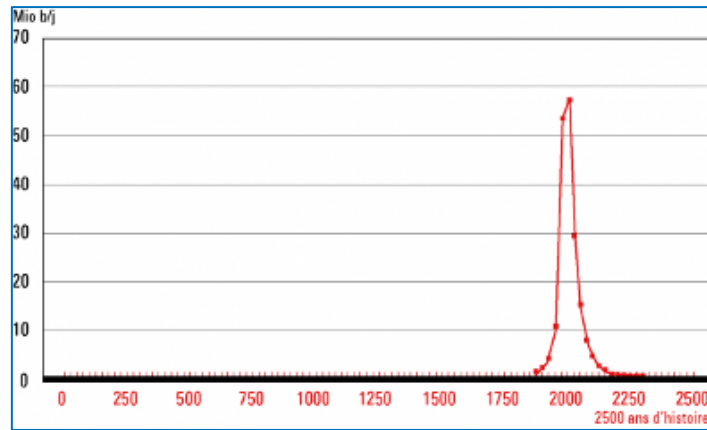


Figure 2 : l'histoire très résumée du pétrole conventionnel

La ressource du pétrole brut répond à une logique de marché : d'une part la loi offre/demande influe sur son prix à moyen terme, d'autre part les logiques spéculatives influent sur son prix à court et moyen terme. Ainsi, bien que les réserves prouvées (découvertes passées) équivalent à une quarantaine d'année de consommation actuelle, la pression du marché fait que son prix risque de restreindre son usage bien avant.

D'un autre côté, le prix de la ressource augmentant, de nouvelles technologies d'extraction de ressources, de valorisation d'énergie renouvelables ou d'efficacité énergétique deviennent compétitives. Ces technologies ne permettront cependant vraisemblablement pas de réduire les coûts d'accès à l'énergie.

2.2 Effet de serre, réchauffement planétaire et changements climatiques

La combustion des hydrocarbures génère du CO₂ dans l'atmosphère. Le CO₂, ainsi que d'autres gaz, absorbe préférentiellement les rayonnements infra-rouge. Ce type de rayonnement est le principal mode de dissipation énergétique du système terrestre. Le rayonnement ainsi absorbé par ces gaz est ensuite réémis, une part vers l'espace, l'autre part vers la planète. C'est par cette réémission en direction de la planète que se manifeste l'effet de serre.

De nombreuses modélisations de l'évolution du climat ont été menées, en prenant en compte divers scénarios de consommation d'hydrocarbures au cours des prochaines années.

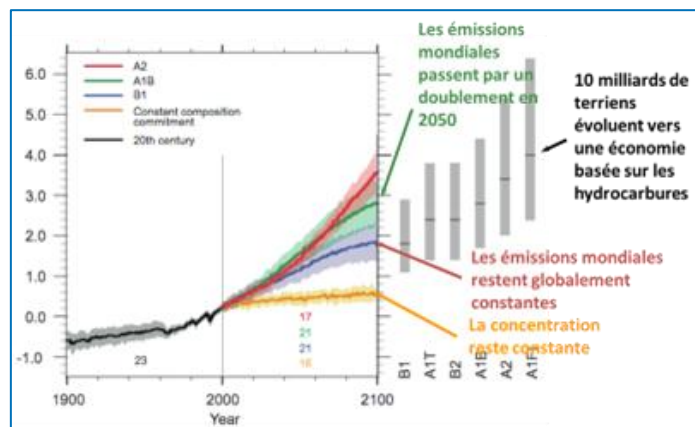


Figure 3 : évolution de la température moyenne planétaire (°C) selon émissions (source : GIEC, AR4)

Les évolutions de température terrestre connues par le passé (glaciations) et envisagées ne sont pas uniformes : on constate que les zones équatoriales conservent une température moyenne annuelle

globalement constante : 26°C, y compris pendant les dernières glaciations ; les zones situées au-delà des 45^{èmes} parallèles subissant des variations de température moyenne de l'ordre de 2 à 3 fois l'évolution de la température terrestre moyenne. Cet effet est renforcé dans l'hémisphère nord par rapport à l'hémisphère sud en raison de la répartition des terres émergées (moins d'homogénéisation thermique). On constate ci-après que pour ce scénario (évolution moyenne de +3,5°C à horizon 2100), les évolutions locales vont au-delà de +7°C :

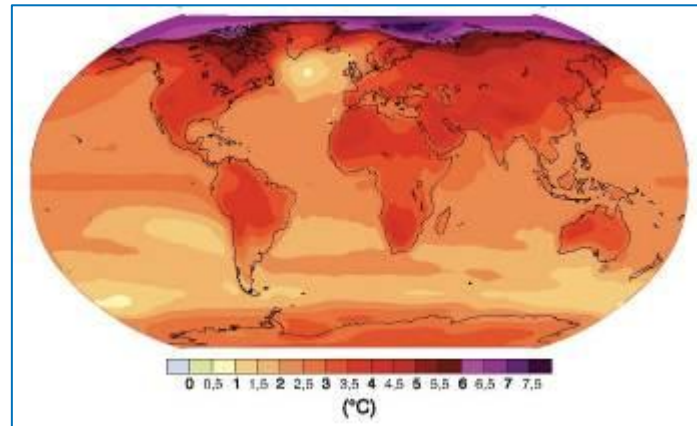


Figure 4 : évolution de température moyenne pour le scénario A1B (Source : GIEC, AR4)

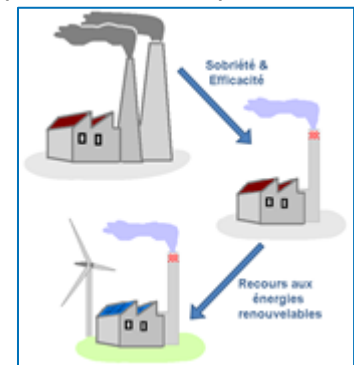
La pluviométrie s'en trouve affectée, ainsi que les climats, et les écosystèmes évoluent.

La communauté scientifique estime qu'au-delà de 2°C d'augmentation de température moyenne, des mécanismes interagissant avec le climat sont mis en œuvre de manière non réversible à nos échelles. Le niveau de concentration correspondant est de l'ordre de 550 ppm de CO₂. Le niveau actuel est de 400 ppm environ, avec une augmentation annuelle constatée de 2 à 3 ppm par an.

Pour arrêter de modifier le climat, il faudrait que l'humanité réduise à court terme par deux ses émissions de gaz à effet de serre (les écosystèmes absorbent actuellement la moitié du CO₂ émis, par photosynthèse et dissolution océanique). Soit des émissions restantes d'environ 2 tCO₂e par habitant. Les émissions territoriales de la France, ramenées à la population sont de 8,7 tCO₂e par habitant. Il nous faudrait donc diviser par 4 les émissions de GES à l'échelle de la France. Un objectif politique a été pris en 2003 par le gouvernement français de réaliser le "Facteur 4" à horizon 2050.

2.3 Notre vision de la problématique énergétique

Dans ce contexte énergétique et climatique particulier, le recours aux énergies renouvelables (EnR) doit être envisagé comme le dernier maillon d'une chaîne vertueuse visant à réduire les consommations d'énergies fossiles non renouvelables et relocaliser la production d'énergie. Il n'a de sens que si des actions prioritaires sont menées en amont sur les questions de sobriété et d'efficacité énergétique. On entend par sobriété énergétique la suppression des gaspillages par la responsabilisation de tous les acteurs, du producteur aux utilisateurs. L'efficacité énergétique quant à elle consiste à réduire le plus possible les pertes par rapport aux ressources utilisées. Ainsi les actions de sobriété et d'efficacité réduisent les besoins d'énergie à la source. Les EnR doivent alors être encouragées et favorisées pour satisfaire le solde des besoins d'énergie dans le but d'équilibrer durablement ces besoins avec les ressources disponibles et limiter le recours aux énergies non renouvelables. La présente étude s'inscrit dans cette démarche.



2.4 Contexte réglementaire

2.4.1 La loi Grenelle

La loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement, dite Grenelle I, établit le programme de mise en œuvre des conclusions de la consultation nationale sur la politique de l'environnement. Le texte est composé de 57 articles regroupés en 5 grands titres :

- Lutte contre le changement climatique
- Biodiversité, écosystème et milieux naturels
- Prévention des risques pour l'environnement et la santé, prévention des déchets
- Etat exemplaire
- Gouvernance, information et formation

L'article 8 de la présente loi, transcrit à l'article L128-4 du Code de l'Urbanisme, depuis abrogé et repris dans l'article [L300-1 du code de l'urbanisme](#) stipule que « Toute action ou opération d'aménagement faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération ».

L'article 4 de la présente loi établit les grandes lignes de la Réglementation Thermique 2012, dont les modalités sont fixées par l'[arrêté du 26 octobre 2010](#). Elle limite notamment à 50 kWh d'énergie primaire (modulable selon les typologies de bâtiment, la localisation, l'altitude, la mitoyenneté...) la consommation maximale annuelle surfacique pour les usages suivants : chauffage et auxiliaires, eau chaude et auxiliaires, ventilation, climatisation et éclairage.

2.4.2 La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte

La loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte ainsi que les plans d'action qui l'accompagnent doivent permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et de renforcer son indépendance énergétique en équilibrant mieux ses différentes sources d'approvisionnement.

Les objectifs de la loi précisent ou renforcent ceux établis par les lois Grenelle :

- Réduire nos émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 (facteur 4).
- Réduire notre consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence 2012.
- Réduire notre consommation énergétique primaire d'énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à la référence 2012.
- Porter la part des énergies renouvelables à 32 % de la consommation finale d'énergie en 2030 et à 40 % de la production d'électricité.
- Diversifier la production d'électricité et baisser à 50 % la part du nucléaire à l'horizon 2025.
- Réduire de 50 % les déchets mis en décharge à l'horizon 2025.

3. Méthodologie

L'étude proposée par BURGEAP se déroule en deux phases :

- Diagnostic ;
 - Caractérisations des besoins énergétiques du projet (cahier 1),
 - Analyse du potentiel en énergies renouvelables et de récupération (cahier 1),
- Faisabilité ;
 - Pré dimensionnement (cahier 2)
 - Analyse multicritères (cahier 2).

CAHIER 1

4. Caractéristiques du projet

4.1 Périmètre d'étude

L'étude de faisabilité du potentiel de développement des EnR concerne le site actuel du Parc des Expositions et du Zénith d'Orléans. Il fait l'objet d'un projet d'ampleur : la déconstruction du Parc des Expositions actuel et la création d'une salle sportive et d'un nouveau Parc des Expositions sur le parking actuel.

Le site est situé au sud d'Orléans, au sein du quartier Saint Marceau, en limite de la commune d'Olivet. Il est bordé à l'ouest par l'avenue de Sologne (D2020) et à l'est par le Bras de Montées, affluent du Loiret :

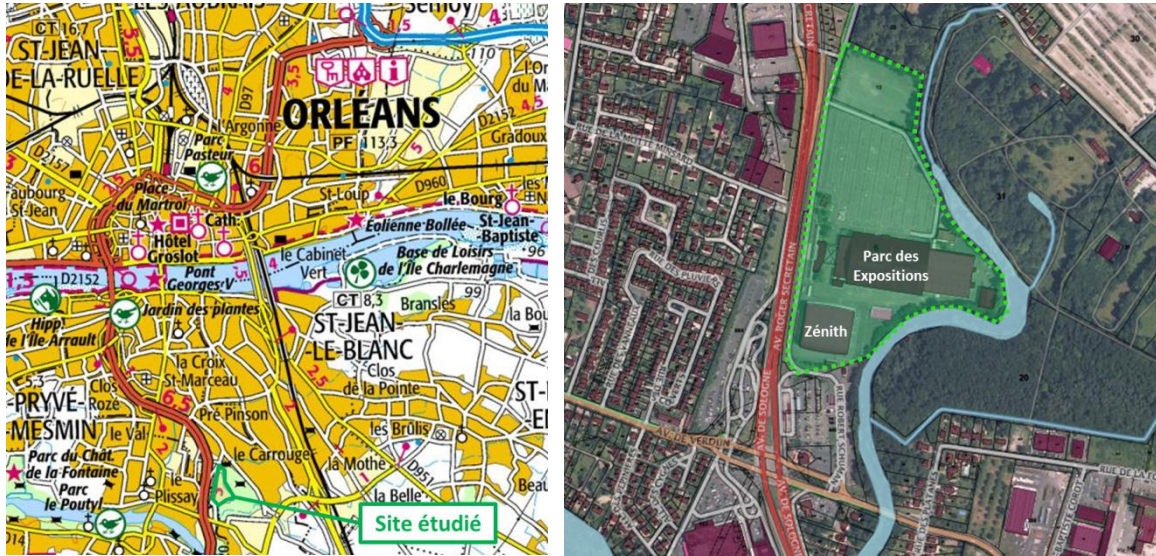


Figure 5 : Localisation du projet

4.2 Données collectées et scénario d'aménagement

4.2.1 Scénario d'aménagement

Le projet d'aménagement prévoit :

- Une nouvelle salle sportive de 8 000 places au nord (surface dans œuvre de l'ordre de 10 000 m²) ;
- Un nouveau parc des expositions, comprenant un grand hall de 16 500 m² au niveau du parking actuel (surface dans œuvre de l'ordre de 20 000 m²) ;
- Un pôle de services commun aux deux équipements (surface totale dans œuvre de l'ordre de 4 200 m²) ;
- Le réaménagement intérieur du Zénith d'une capacité de 6 900 places.

4.2.2 Performance thermique

Une majorité des permis de construire devraient être déposés avant 2020, le niveau de performance thermique de tous les bâtiments neufs serait celui exigé par la RT2012 (obligation réglementaire).

Si certains permis de construire étaient déposés après 2020, les constructions devraient alors respecter la réglementation thermique 2020 (correspondant a priori au niveau d'exigence des bâtiments à énergie positive

4.2.3 Stratégie énergétique locale

4.2.3.1 SRCAE

Le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) du Centre a été approuvé par le Conseil Régional le 21 juin 2012 et validé par l'arrêté préfectoral N°12.120 du 28 juin 2012. Ce document sera ensuite révisé tous les 5 ans. Un suivi de sa mise en œuvre sera effectué tous les ans.

Le SRCAE définit aux horizons 2020 et 2050 les grandes orientations régionales aux horizons 2020 et 2050 pour satisfaire cinq objectifs :

- réduire les émissions de gaz à effet de serre,
- maîtriser la demande énergétique,
- développer les énergies renouvelables,
- s'adapter au changement climatique.

Pour chacune des filières EnR étudiée, des objectifs chiffrés de développement sont également donnés :

Tableau 1 : Objectifs régionaux de développements des EnR à horizon 2020 et 2050, source : SRCAE Centre

	En 2008	En 2020		En 2050
	Production en ktep	Production en ktep	Ordre de grandeur des gains en émissions de GES en kteqCO ₂	Production en ktep
Bois-énergie	354	650	900	700
Méthanisation	5	80	300	300
Éolien	54	560	600	900
Géothermie	5	120	200	600
Solaire thermique	1	23	40	100
Solaire photovoltaïque	0,1	25	30	200
Hydraulique	12	12		12
Total	434 ktep	1470 ktep	2.070 kteqCO₂	~2.800 ktep

4.2.3.2 Plan Climat Energie Territorial d'Orléans

La ville d'Orléans a également élaboré son Plan Climat Energie Territorial (PCET), approuvé en 2012. L'objectif de ce PCET est de proposer un programme d'actions, ne relevant pas forcément toutes de la compétence directe de la Mairie, mais permettant d'inscrire le territoire dans une dynamique de réduction des émissions de GES avec pour objectif une réduction de 20% d'ici 2020. Il y est inscrit comme axe majeur d'orientation de favoriser le recours aux énergies renouvelables (Axe 5). A Orléans, cela se traduit par des actions sur les réseaux de chaleur, l'encouragement à l'installation de modules d'énergie renouvelables (panneaux solaires, petits modules éoliens), mais aussi par le fait de favoriser le développement de la géothermie, la récupération de chaleur des eaux grises (stations d'épuration, châteaux d'eau, piscines...) et les projets de méthanisation pour production de biogaz à partir de bio déchets.

4.3 Caractérisation des besoins

La principale contrainte du projet vient de la très forte intermittence d'occupation du Parc des Expositions (PEX) et de la salle sportive. La seule zone ayant une occupation permanente tout au long de l'année est la zone de bureaux. La salle d'entraînement et les sanitaires seront également occupés fréquemment par le club Orléans Loiret Basket.



Les besoins sont estimés ici sur la base du calendrier d'occupation de la salle sportive et du parc des expositions fourni par l'agglomération d'Orléans (nombre d'heures d'occupation, nombre de visiteurs attendus) et majoré en fonction de l'augmentation d'occupation prévue pour ce projet (environ 50% d'occupation à l'année pour le PEX). Ainsi, pour chaque bâtiment, quatre périodes ont été définies pour chaque mois :

- période jour sans visiteur (occupation de la zone de bureaux pour le PEX, occupation de la salle d'entraînement et des sanitaires par l'équipe de basket pour la salle sportive) ;
- Période jour avec visiteurs, avec le nombre d'heures d'occupation correspondant, par mois ;

- Période nuit sans visiteur ;
- Période nuit avec visiteurs, pour les évènements se prolongeant dans la soirée.

Pour chaque mois un nombre moyen de visiteurs a été établi à partir du nombre maximum de visiteurs attendus et de la durée des évènements.

Les différents apports thermiques (positifs ou négatifs) ont été estimés :

- Apports solaires ;
- Déperditions liées aux murs, vitres, toit et sol ;
- Apports électriques (éclairage, ventilation, etc.) ;
- Apports humains.

Ainsi à partir de températures consignes de chaud et froid sont déterminés les besoins de chaque bâtiment.

La problématique de déshumidification propre aux grands équipements recevant du public a également été prise en compte. En effet l'air chargé d'eau en été doit être refroidi pratiquement jusqu'au point de congélation, pour qu'une condensation importante se produise. L'air est ainsi asséché, puis il est chauffé pour être réinjecté dans la salle. Cette particularité des bâtiments accueillants du public implique des appels de chaud et de froid simultanés, notamment en période estivale.

La vérification du respect des consommations autorisées par la RT 2012 est ensuite réalisée.

Les besoins du Zénith sont connus grâce aux factures fournies par les gestionnaires du site et correspondent essentiellement à des besoins de chauffage.

A partir des hypothèses précédentes et des surfaces du schéma d'aménagement, les besoins annuel du site par bâtiment sont estimés :

Tableau 2 : besoins des bâtiments du projet (en MWh/an)

Besoins (MWh/an)	Froid (énergie utile)	Chauffage (énergie utile)	ECS (énergie utile)	Electricité (énergie finale)
Parc des Expositions	340	570	45	390
Salle sportive	17	260	21	110
Bureaux	8	10	14	3
Total	365	840	80	503

Besoins (MWh/an)	Gaz
Zénith	343

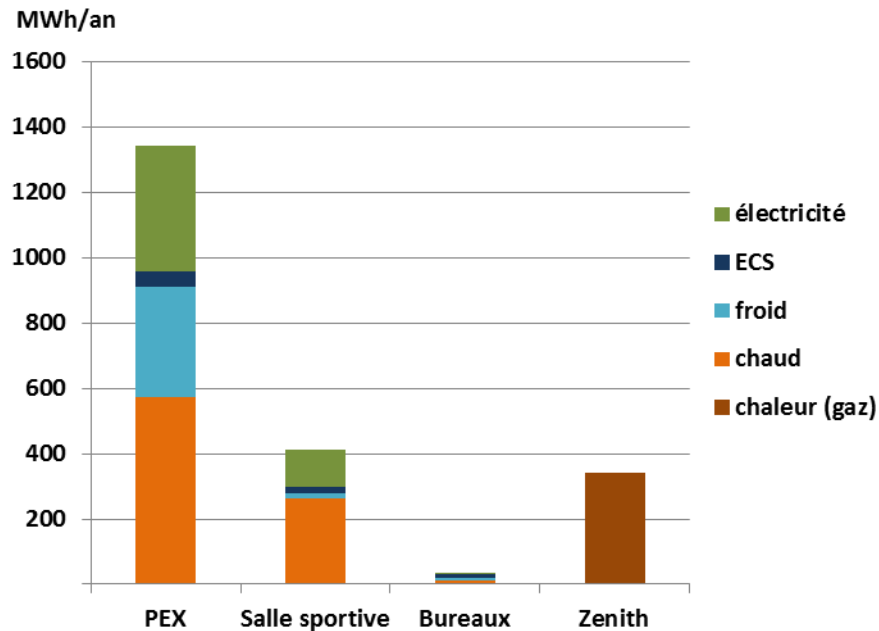


Figure 6 : besoins en énergie thermique et électrique pour les bâtiments du projet

Les deux chaudières gaz du Zénith ont été installées en 2014. Il n'est pas prévu de les substituer dans cette étude. Pour l'analyse des scénarios étudiés par la suite, les besoins du Zénith n'ont donc pas été pris en compte.

A titre indicatif, pour une occupation du parc des expositions de 30 et 60% du temps les besoins estimés sont les suivants :

Tableau 3 : besoins du PEX en fonction de l'occupation (MWh/an)

Besoins (MWh/an)	Froid (énergie utile)	Chauffage (énergie utile)	ECS (énergie utile)	Electricité (énergie finale)
30% d'occupation	240	510	30	320
60 % d'occupation	500	670	60	470

5. Analyse du potentiel en Energies Renouvelables et de Récupération

5.1 L'énergie hydraulique

Les installations hydroélectriques représentent une part non-négligeable de la production d'énergie électrique française : en moyenne 13% de la production d'électricité (énergie), et 20% de la capacité électrique installée (puissance) sur le territoire en 2012 (soit environ 25 400 MW). L'hydroélectricité est la première source renouvelable d'électricité en France métropolitaine en termes de production.

Les deux facteurs essentiels qui conditionnent l'énergie mobilisable pour l'hydroélectricité issue de cours d'eau sont la hauteur de chute et le débit du cours d'eau.

Le Bras des Montées borde le site étudié, cependant, ce cours d'eau ne présente pas de débit et dénivellation suffisantes, ni de vitesses exploitables (hydroliennes), cette solution n'a pas été retenue.



Vue du Bras des Montées depuis l'Avenue de Verdun (Sud du site)



Embouchure du Bras des Montés sur le Loiret (Sud du site)

5.2 L'énergie solaire

L'énergie solaire est présente partout (énergie de « flux »), intermittente (cycle journalier et saisonnier, nébulosité), disponible (pas de prix d'achat, pas d'intermédiaire, pas de réseau) et renouvelable. Cependant, elle nécessite des installations pour sa conversion en chaleur ou en électricité. Le caractère intermittent impose de se munir d'un système d'appoint pour assurer une production énergétique suffisante tout au long de la journée et de l'année.

Le présent rapport se focalise sur les technologies jugées pertinentes à l'échelle d'une opération d'aménagement : la production d'électricité par panneau solaire photovoltaïque et la production d'eau chaude sanitaire par panneau solaire thermique.

5.2.1 Données climatiques et gisement

A Orléans, le rayonnement solaire annuel reçu par une surface plane horizontale est d'environ 1 240 kWh/(an.m²) :

Système fixe: inclinaison=0°, orientation=0°				
Mois	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.71	22.2	0.94	29.1
Fev	1.38	38.6	1.75	48.9
Mar	2.55	79.0	3.21	99.5
Avr	3.61	108	4.64	139
Mai	4.02	125	5.28	164
Jun	4.41	132	5.89	177
Jui	4.40	136	5.90	183
Aug	3.73	116	4.99	155
Sep	2.93	87.9	3.85	116
Oct	1.70	52.7	2.21	68.6
Nov	0.87	26.0	1.14	34.3
Dec	0.61	19.1	0.83	25.8
Moyenne annuelle	2.58	78.6	3.39	103
Total pour l'année		943		1240

E_d : Production d'électricité journalière moyenne par le système défini (kWh)
 E_m : Production d'électricité mensuelle moyenne par le système défini (kWh)
 H_d : Moyenne journalière de la somme de l'irradiation globale par mètre carré reçue par les modules du système défini (kWh.m⁻²)
 H_m : Somme moyenne de l'irradiation globale par mètre carré reçue par les modules du système défini (kWh.m⁻²)

Figure 7 : ensoleillement moyen annuel en kWh/m²/an à Orléans (source : PVGIS)

Inclinés à 35° en direction du sud, les panneaux peuvent recevoir un **rayonnement annuel atteignant 1 420 kWh/m²**. Ce potentiel moyen par rapport au niveau national permet d'étudier plus en détail l'utilisation de cette ressource.

Aucun bâtiment existant aux environs immédiats n'est suffisamment haut et/ou proche pour créer un masque solaire :



Figure 8 : vue aérienne du site par le sud (source : Google Street)

Les impacts croisés des nouveaux bâtiments du projet devraient quant à eux être maîtrisés : la hauteur du futur Parc des Expositions se situera autour de 7m et n'occultera pas donc pas la toiture de la salle sportive au Nord, dont la hauteur sera située autour de 17m. La seule ombre portée pourrait provenir du Zénith actuel sur une partie du Parc des Expositions, en fonction de la distance prévue entre ces deux bâtiments.

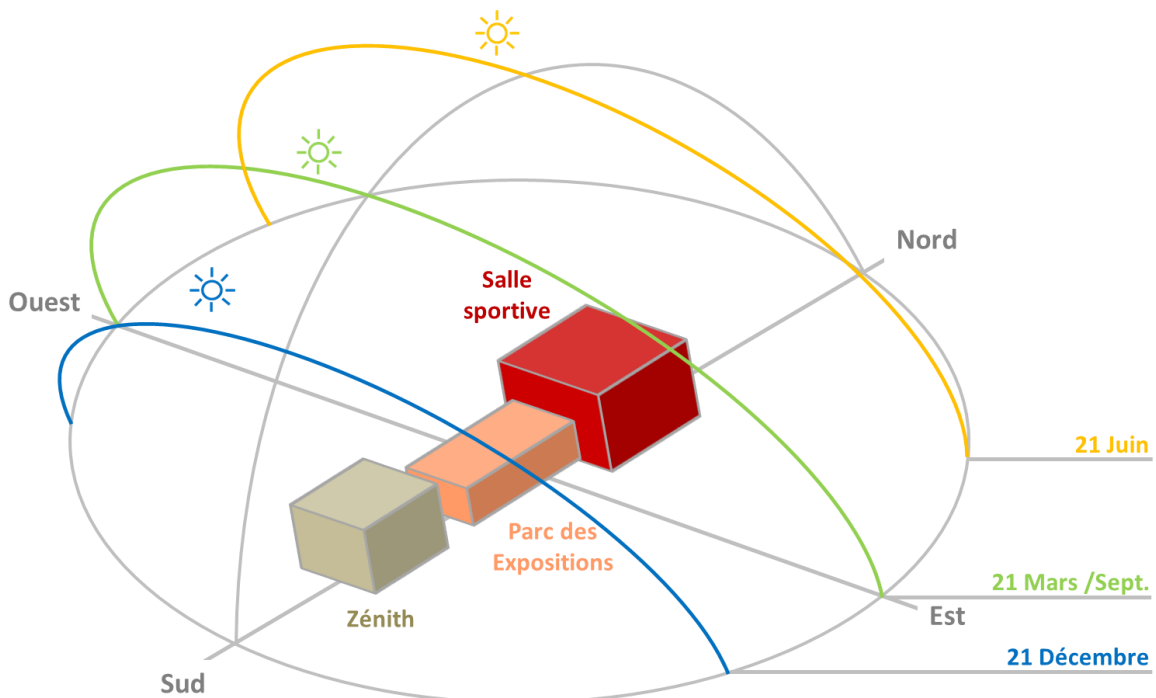


Figure 9 : Schéma de la course du soleil au niveau du projet suivant la période de l'année

La surface de toiture disponible et l'ensoleillement sont à mettre en regard des rendements des systèmes de production énergétique afin de conclure s'il y a présence ou non d'un réel potentiel solaire.

► Calcul de la toiture disponible :

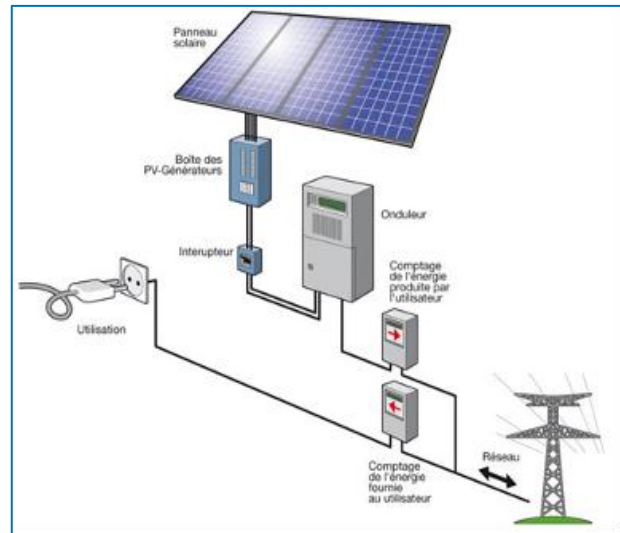
D'après les surfaces de plancher envisagées, en prenant en compte l'élévation des bâtiments, la surface de toiture « brute » du projet serait d'environ 33 800 m². Afin de tenir compte d'une compétition entre les usages de toiture, des orientations, de la place nécessaire à l'entretien des panneaux et pour éviter les ombres portées entre eux, **la surface disponible retenue pour les panneaux est d'environ 10 000 m²** (hypothèse de 30% de la surface de toiture). Des ombrières équipées de panneau photovoltaïques pourraient également être mise en place sur les espaces de stationnement, permettant également de préserver la fraîcheur des véhicules stationnés. La surface associée serait également de l'ordre de 10 000 m² exploitables.

5.2.1 Le solaire photovoltaïque

La filière photovoltaïque (PV) peut être séparée en deux types d'application, à savoir les systèmes de production d'électricité autonomes et les systèmes de production d'électricité raccordés au réseau de distribution de l'électricité.

Compte tenu du contexte de la mission, et de la désynchronisation entre les périodes de besoin en électricité et les périodes de production pour les usages électriques majeurs du site, seule la filière photovoltaïque raccordée au réseau sera évoquée par la suite.

Les panneaux solaires PV produisent de l'électricité à l'aide du rayonnement solaire (énergie solaire renouvelable). La performance énergétique d'un système photovoltaïque est influencée par un certain nombre de facteurs, notamment climatiques, technologiques, de conception et de mise en œuvre.



Potentiellement les panneaux solaires photovoltaïques peuvent s'installer partout : en toiture ou en terrasse, en façade, au sol, en écran antibruit, etc. Autant d'endroits possibles tant qu'ils respectent quelques règles de mise en œuvre : orientation favorable et inclinaison optimale (le rendement maximal étant observé lorsque les panneaux sont perpendiculaires au rayonnement solaire direct), sans masques ni ombres portées.

L'électricité produite est sous forme de courant continu. Afin de pouvoir l'injecter dans le réseau, il faut la transformer en courant alternatif et changer sa tension. Des modules appelées onduleurs permettent cette transformation, mais ils représentent un investissement supplémentaire et génèrent de nouvelles pertes énergétiques.

► Production approximative :

R, rendement moyen d'un capteur solaire photovoltaïque poly cristallin fixe et onduleur : 10 %

E, ensoleillement annuel : 1 420 kWh/m² (toiture orientée à 35°)

Sc, surface de capteurs solaires : Sc = 10 000 m² (cf. ci-dessus)

PA, production annuelle : PA = E x R x Sc = 1 420 MWh/an

A titre d'information, les besoins en électricité spécifique réglementaire du projet sont estimés à 500 MWh par an. D'après, la surface de capteurs solaires envisagée, la production d'électricité photovoltaïque pourrait compenser largement les consommations d'électricité réglementaire du projet.

Cependant, la production n'a pas toujours lieu pendant les périodes de consommation très variables du projet, et les tarifs d'achat appliqués en France rendent la consommation en direct moins intéressante qu'une vente de la production sur le réseau.

► Condition de raccordement des installations de PV :

L'achat de l'électricité photovoltaïque dépend fortement de la puissance installée¹ et de la date du raccordement. Les tarifs sont également révisés tous les trimestres en fonction du nombre de raccords à l'échelle nationale. Pour cette raison il est difficile d'estimer précisément les recettes d'une telle installation raccordée.

A titre d'information, le tableau ci-dessous présente les tarifs d'achat pour le 2^{er} trimestre 2016 en fonction de la puissance installée et du type d'intégration :

Tableau 4 : tarifs d'achat de l'électricité PV pour le 2^{ème} trimestre 2016 en fonction de la puissance installée et du type d'intégration

Intégration au bâti	
0-9 kWc	24,63 c€/kWh
Intégration simplifiée au bâti	
0-36 kWc	13,27 c€/kWh
36-100 kWc	12,61 c€/kWh
Non intégré au bâti	
<12 MWc	5,80 c€/kWh

La mise en place d'entités de production photovoltaïque dont la puissance installée dépasse les 100 kWc (ce qui serait le cas dans le cas d'une installation de 10 000 m², d'une puissance de l'ordre d'1 MW) nécessite une consultation simplifiée qui doit être lancée par l'Etat, il est donc difficile de garantir l'éligibilité du projet à ce stade.

Aujourd'hui la filière photovoltaïque pour les petites installations en France semble être à un tournant de son histoire : jusque-là le producteur revendait au réseau l'ensemble de la production, les tarifs d'achats étaient avantageux et les aides disponibles rendaient acceptables les investissements pour les particuliers. La baisse régulière des tarifs d'achat et l'arrêt des crédits d'impôt depuis le 1er janvier 2014 rendent aujourd'hui ce fonctionnement difficilement rentable pour le propriétaire des panneaux, malgré une baisse du coût de ceux-ci. De plus, l'Union Européenne se pose aujourd'hui la question de la suppression de ces tarifs au profit d'autres mécanismes d'aide.

L'exploitation pourrait évoluer vers un fonctionnement privilégiant l'autoconsommation sur site de l'électricité produite. Si les coûts de production de l'électricité photovoltaïque sont aujourd'hui encore élevés et ne

¹ La puissance installée peut être en première approximation estimée de la manière suivante : 10 m² de panneaux solaires thermiques = 1kWc installé. En réalité ce ratio est différent d'une technologie à l'autre.

permettent pas de concurrencer l'électricité disponible sur le réseau, l'évolution à la hausse de cette dernière devrait rendre cet usage compétitif.

5.2.2 Le solaire thermique

Le solaire thermique correspond à la conversion du rayonnement solaire en énergie calorifique. Traditionnellement, ce terme désigne les applications à basse et moyenne température ; les plus répandues dans le secteur du bâtiment sont la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage de locaux.



Cependant, la productivité du solaire thermique est plus élevée en période estivale, alors que les bâtiments du parc des expositions et de la salle sportive sont peu utilisés (fermeture aux mois de juillet et août).

► Production approximative :

R, rendement moyen d'un capteur solaire thermique : 30 %

E, ensoleillement annuel : 1 420 kWh/m² (capteurs orientés sud inclinés à 35°)

Sc, surface de capteurs solaires : Sc = 10 000 m² (cf. ci-dessus)

PA, production annuelle : PA = E x R x Sc = 4 260 MWh/an

A titre de rappel, les besoins utiles en ECS du projet peuvent être estimés à 80 MWh/an, une surface bien inférieure de panneaux permettrait donc de couvrir la majorité des besoins en ECS (un appoint est nécessaire pour couvrir les périodes de faible ensoleillement). De plus si une grande partie des besoins est très ponctuelle, en lien avec les événements accueillis par le parc des expositions et la salle sportive, l'occupation de la salle sportive par l'équipe de basket implique des besoins plus réguliers. Cette solution pourra donc être étudiée par la suite.

5.3 L'énergie éolienne

L'énergie éolienne consiste à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, par l'intermédiaire d'une éolienne. Les machines actuelles sont utilisées pour produire de l'électricité qui est consommée localement (sites isolés), ou injectée sur le réseau électrique (éoliennes connectées au réseau). L'application « connecté réseau » ou « grand éolien » représente, en terme de puissance installée, la quasi-totalité du marché éolien. De même que les systèmes solaires, les systèmes éoliens nécessitent la mise en place d'un appoint.

5.3.1 Grand éolien (puissance > 350 kW)

L'installation de grandes éoliennes n'est pas envisageable en milieu urbain à cause des nuisances et des risques générés.

5.3.1 Moyen et Petit éolien

Le moyen éolien (36 kW < P < 350 kW) est généralement composé de petites éoliennes à axe horizontal adaptées au milieu rural.

Le petit éolien (< 36 kW) en milieu urbain est peu développé. Pour répondre aux problématiques d'utilisation de l'espace, plusieurs types d'éoliennes à axe vertical se sont développés. Les retours d'expériences montrent une technologie peu fiable voire sans intérêt économique.



Dans les deux cas, il existe beaucoup trop d'incertitudes (vent réellement disponible, direction changeante, efficacité des systèmes) et de contraintes (bruit, structure, maintenance) pour proposer ces solutions à grande échelle. De plus, la faible hauteur des installations les rend très sensibles aux perturbations aérodynamiques engendrées par les bâtiments alentours.

Une note de l'ADEME parue en octobre 2013 rend compte de ces difficultés : « Dans les conditions techniques et économiques actuelles, le petit éolien ne se justifie généralement pas en milieu urbain. Outre le fait que les éoliennes accrochées au pignon d'une habitation peuvent mettre en danger la stabilité du bâtiment, le vent est, en milieu urbain et péri-urbain, en général trop faible ou trop turbulent pour une exploitation rentable ».

5.4 La combustion de biomasse

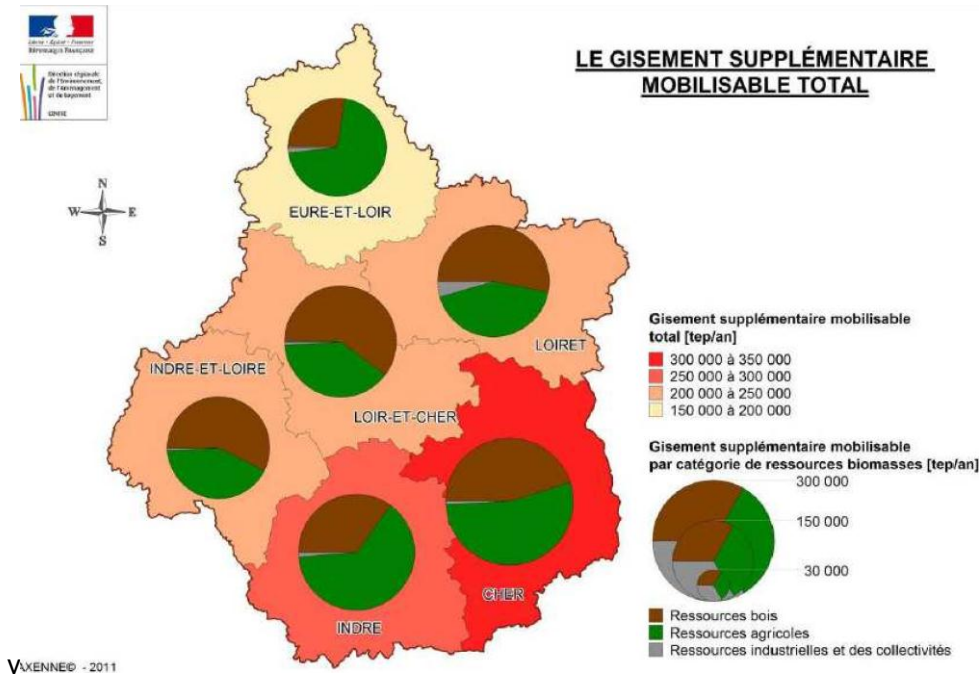
L'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques représente une part importante de l'objectif de la France qui, dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, s'est engagée à porter à hauteur de 23% sa part EnR dans sa consommation énergétique finale d'ici 2020.

La combustion de la biomasse est « non émettrice de Gaz à effet de serre » car l'intégralité du CO₂ rejeté dans l'atmosphère lors de sa combustion a été prélevée dans cette même atmosphère lors de la phase de croissance de la biomasse. Sous réserve d'une gestion responsable et durable des forêts (ou autres gisements en biomasse), le bilan CO₂ de photosynthèse-combustion est donc neutre.

Cependant la combustion de 1 kWh PCI de biomasse est pondérée de l'émission de 0,004 à 0,015 kgCO₂e (source : ADEME) du aux transformations de la récolte jusqu'à sa mise en forme combustible. Au regard des autres énergies (0,235 kgCO₂e pour 1 kWh PCI de gaz produit puis brûlé), la biomasse reste une énergie très peu carbonée.

5.4.1 Le bois énergie

Dans le cadre du SRCAE Centre, les gisements brut, théorique et mobilisable de biomasse ont été évalués. En région Centre, l'ensemble du gisement supplémentaire mobilisable pour la combustion a été estimé à 1 356 000 tep/an (environ 16 000 GWh/an). Cette estimation est répartie à 50% pour le bois et ses connexes (majoritairement Bois d'Industrie, Bois d'Énergie) et à 50% pour la biomasse agricole (paille).



Gisement de biomasse supplémentaire mobilisable au niveau régional (source : SRCAE Centre)

Le développement d'une solution biomasse à l'échelle du projet paraît donc envisageable en termes de disponibilité de la ressource.

► Préfaisabilité

Trois obstacles pénalisent généralement l'utilisation de la biomasse dans le cadre d'un projet en milieu urbain.

- Le trafic routier nécessaire à l'approvisionnement en biomasse est une gêne probable (nuisances sonores, encombrement du trafic) pour les riverains. Sur la base d'une consommation estimée à 650 MWh pour le chauffage et l'ECS, nous pouvons évaluer le nombre de livraisons nécessaires en semi-remorques :

C – consommation énergétique efficace annuelle pour le chauffage et l'ECS : 920 MWh

PC – pouvoir calorifique moyens des plaquettes forestières : 3 000 kWh/t²

R – rendement moyen des installations de combustion : 80 %

Nt – nombre de tonnes de plaquettes consommées chaque année : $Nt = C \times 10^3 / PC / R = 383$ tonnes

Ch – chargement moyen d'un camion : 25 tonnes³

² Le pouvoir calorifique des plaquettes forestières dépend majoritairement de son humidité. La valeur prise ici est une moyenne souvent donnée dans la littérature pour une humidité de 40%.

NR – nombres de rotations annuelles : $NR = Nt/Ch = 16$

Ce schéma d'approvisionnement représente en termes de trafic environ **16 rotations annuelles de semi-remorques** principalement durant les périodes de chauffe, très ponctuelles dans le cas du projet.

- Deuxièmement, s'ajoute la problématique de l'espace nécessaire pour la mise en place de la chaufferie et pour le dépotage dans des conditions de sécurité satisfaisantes et le stockage.
- Troisièmement, la combustion de biomasse est émettrice de particules. Toutefois, cette problématique est aujourd'hui maîtrisée sur les installations récentes.

Le choix du bois énergie nécessiterait l'ajout d'une deuxième source énergétique pour couvrir les besoins en froid du projet et donc un investissement important.

En conclusion, le bois-énergie présente un potentiel important, permettant de mobiliser une ressource et des emplois locaux. Cependant la problématique de la ponctualité des besoins en chaud et l'existence de besoins en froid importants rendent une solution bois-énergie mutualisée peu adaptée.

5.4.2 Biomasse agricole

On entend par biomasse agricole les sous-produits d'exploitation ne présentant plus de valorisation possible en termes d'alimentation ou d'utilisation comme matière première techniquement, économiquement et écologiquement viable. Le Grenelle 1 de l'environnement définit clairement cette priorité d'usage au recours de la biomasse en général :

- Priorité 1 : alimentaire,
- Priorité 2 : matériaux,
- Priorité 3 : énergie.

L'utilisation de ces sous-produits en valorisation énergétique est généralement rendue compliquée par la diversité des matériaux (générant autant de procédés différents), leur répartition géographique, leur périodicité de disponibilité et l'absence de filières dédiées. Une grande partie des sous-produits existants est d'ores et souvent déjà utilisée pour des usages agricoles (retour organique à la terre, constitution de litières pour le bétail, etc.). A l'échelle d'un quartier, il est difficile de conclure sur l'existence d'un réel potentiel. Pour mettre en œuvre l'utilisation de cette biomasse, une approche directe, spécifique à chaque producteur, serait à envisager et à mener à l'échelle d'un territoire plus vaste.

Les considérations menées sur les contraintes du bois énergie (espace, fret, filtration de particules) sont applicables au cas de la biomasse agricole.

5.5 Le biogaz

Le biogaz est un gaz issu de la fermentation de matières organiques animales ou végétales. Une fois récupéré, il peut être valorisé sous forme de chaleur et/ou d'électricité. Deux techniques de production existent : la méthanisation ou la récupération sur centre d'enfouissement technique. Seule la méthanisation dans un digesteur semble adaptée aux contraintes d'un projet d'aménagement urbain.

³ Cette valeur dépend du matériel utilisé par le fournisseur. Le cas optimal d'un semi-remorque à fond mouvant, adapté aux livraisons massives, est utilisé ici.

5.5.1 Valorisation des déchets

Les déchets organiques de cuisine peuvent produire une certaine quantité de biogaz, de l'ordre de 220 m³biogaz/tpb (tonne de produit brut) (source : Chambre agriculture de Laon – Rencontres du biogaz le 8 avril 2011). Ce biogaz est constitué à la fois de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄) dont les proportions peuvent varier selon la qualité des déchets et le processus de méthanisation. Dans le cas d'un digesteur moderne, la teneur en CH₄ du biogaz peut aisément atteindre 50%, la production de méthane par tonne de déchets organiques est donc de l'ordre de 110 m³ CH₄/tpb.

Le programme du projet ne comportant pas de logements et donc pas de production de déchets régulière, cette ressource ne sera pas retenue dans la suite de cette étude.

5.5.2 Valorisation des sous-produits agro-alimentaires

Certaines productions ou certains résidus d'agriculture ou d'élevage ainsi que les boues de STEP peuvent également donner lieu à la production de biogaz via une unité de méthanisation.

Aucun de ces matériaux n'étant produit sur site ou à proximité, cette ressource n'est pas retenue pour la suite.

5.6 La géothermie

On distingue en géothermie :

- **La géothermie haute énergie** (température supérieure à 150°C) : il s'agit de réservoirs généralement localisés entre 1 500 m et 3 000 m de profondeur. Lorsqu'un tel réservoir existe, le fluide peut être capté directement sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité.
- **La géothermie moyenne énergie** (température comprise entre 90°C et 150°C) : le BRGM la définit comme une zone propice à la géothermie haute énergie, mais à une profondeur inférieure à 1 000 m. Elle est adaptée à la production d'électricité grâce à une technologie nécessitant l'utilisation d'un fluide intermédiaire.
- **La géothermie basse énergie** (température comprise entre 30°C et 90°C) : elle concerne l'extraction d'eau inférieure à 90°C dont le niveau de chaleur est insuffisant pour la production d'électricité mais adapté à une utilisation directe (sans pompe à chaleur) pour le chauffage des habitations et certaines applications industrielles.
- **La géothermie très basse énergie** (température inférieure à 30°C) : elle concerne les nappes d'eau souterraine et sols peu profonds dont la température est inférieure à 30°C et qui permet la production de chaleur via des équipements complémentaires (pompe à chaleur notamment).

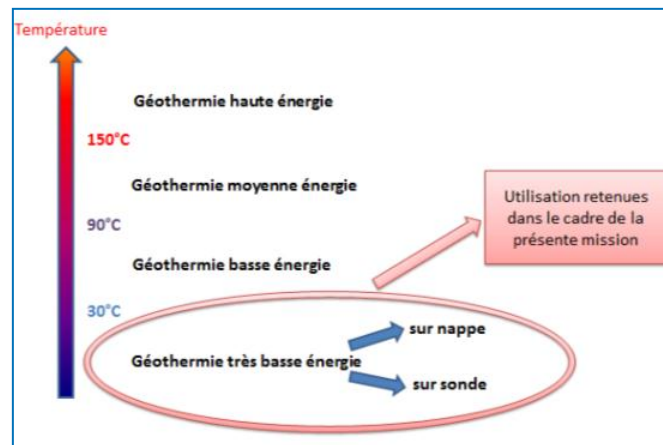
Les trois premiers types de géothermie nécessitent des investissements importants et sont réservés à des projets d'ampleur (réseau de chaleur ou production d'électricité). Ils demandent par ailleurs des contextes géologiques bien particuliers (recours à la nappe du Dogger en région parisienne par exemple).

La géothermie très basse énergie semble être la plus pertinente en termes de potentiel et de faisabilité technique (réglementation, coûts, etc.). Seule cette forme de géothermie est donc détaillée dans ce rapport. Il est à noter que le recours à ce type de géothermie peut fournir de la chaleur mais aussi un rafraîchissement direct (géocooling) ou une climatisation (via une pompe à chaleur, ou « PAC ») pendant la période estivale.

On recense deux techniques en géothermie très basse énergie :

- La géothermie sur nappe, qui consiste à pomper l'eau de la nappe souterraine pour en extraire les calories dans la pompe à chaleur, puis à la réinjecter dans la nappe,

- La géothermie sur sondes sèches, qui consiste à faire circuler un fluide caloporteur dans des sondes (circuit fermé), puis à en extraire la chaleur.



Ces usages de la géothermie nécessitent l'utilisation d'une pompe à chaleur qui permet d'exploiter au mieux l'énergie d'une source de température modérée.

5.6.1 Code minier

D'un point de vue réglementaire, le nouveau code minier définit les activités ou installations de géothermie dite "de minime importance" qui n'ont pas d'incidence significative sur l'environnement et il en élargit le périmètre. Le décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015 qui définit et réglemente les activités de géothermie dite "de minime importance" simplifie le cadre réglementaire qui leur est applicable en substituant au régime d'autorisation en vigueur une déclaration de travaux effectuée par voie dématérialisée. Un zonage a été publié pour apprécier l'éligibilité à ce statut de géothermie de minime importance, il comporte :

- des zones ne présentant pas de risques, dites « vertes » ;
- des zones dans lesquelles, en l'absence de connaissances suffisantes des risques ou compte-tenu de risques déjà identifiés, il doit être joint à la déclaration l'attestation d'un expert agréé, qui garantit l'absence de risques graves du projet ;
- des zones à risque significatif dans lesquelles les ouvrages de géothermie ne pourront pas être considérés de minime importance, dites zones « rouges ». Dans ces zones, un projet ne pourra être réalisé qu'après autorisation complète de l'installation au titre du code Minier.

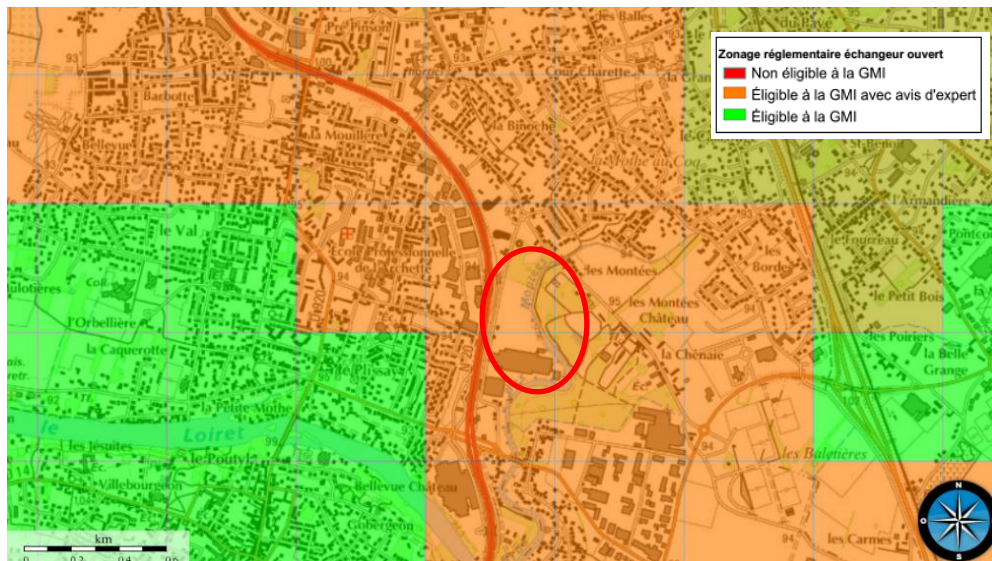


Figure 10 : éligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur nappe



Figure 11 : éligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur sondes (source : géothermie perspectives)

Pour la géothermie sur nappe comme sur sonde, la zone d'aménagement est classée comme une zone éligible à la géothermie de minime importance sous réserve de l'avis favorable d'un expert.

5.6.2 La géothermie sur nappe

Près de la moitié de la surface du territoire de la région Centre (46 %) présente une productivité géothermale jugée forte, permettant des opérations géothermiques conséquentes, et 45 % présentent une productivité géothermale jugée moyenne. Sur Orléans la puissance thermique disponible sur nappe se situe entre 100 et 200 kW :

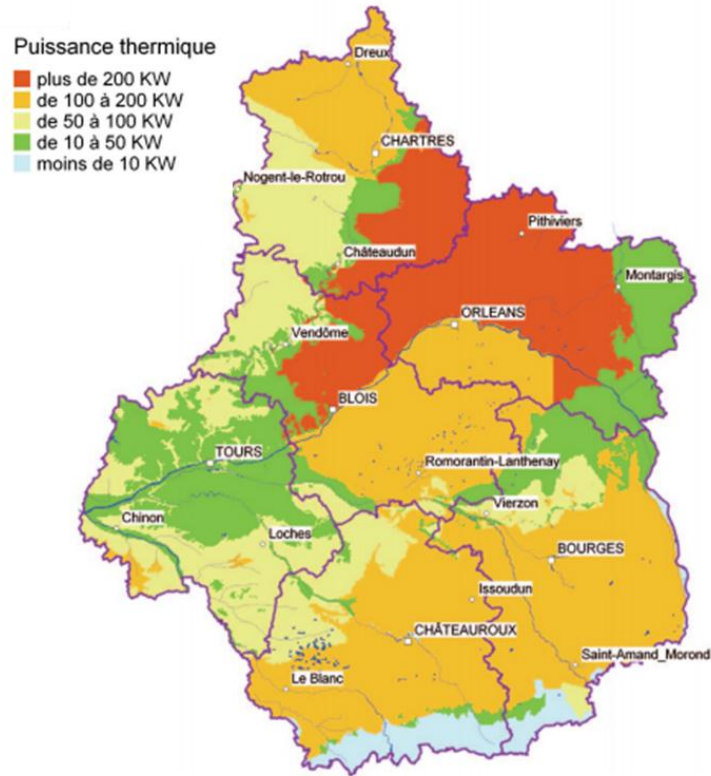


Figure 12 : Puissance thermique disponible dans les nappes - Hypothèse basse, exprimée en KW thermique, pour 6 °C de puisement sur la ressource. Source : BRGM - Atlas des ressources géothermales des aquifères superficielles en région Centre

Une cartographie du potentiel géothermique sur nappe a été réalisée par le BRGM, il classe le site dans une zone très favorable :

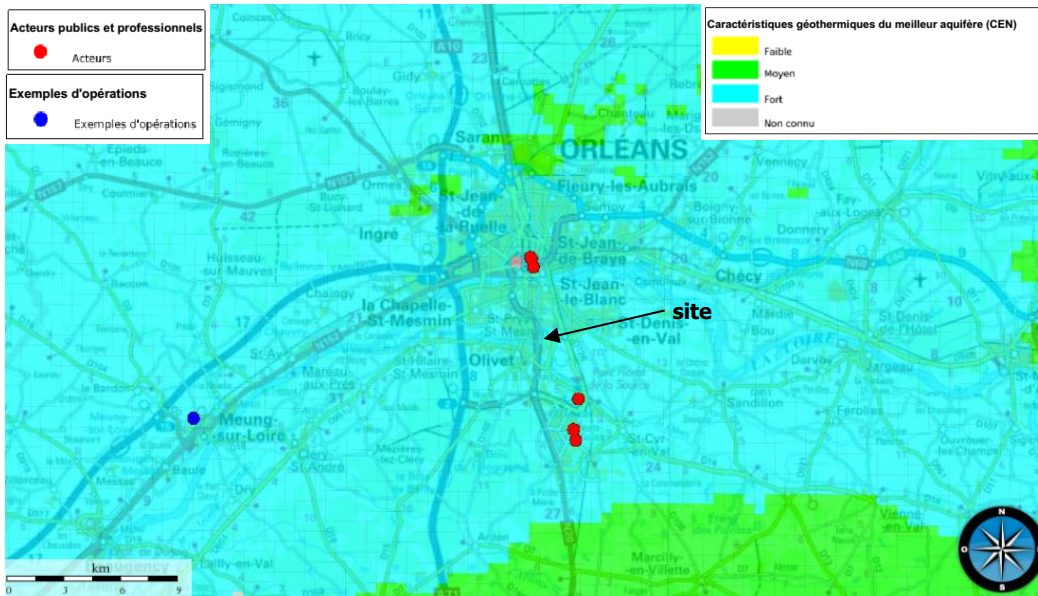


Figure 13 : potentiel géothermique de la région d'Orléans (source : géothermie perspectives)

Ce potentiel fort s'explique par la présence de l'aquifère « calcaires de Beauce » à une profondeur d'environ 2.7 m, présentant une température comprise entre 10 et 15°C :

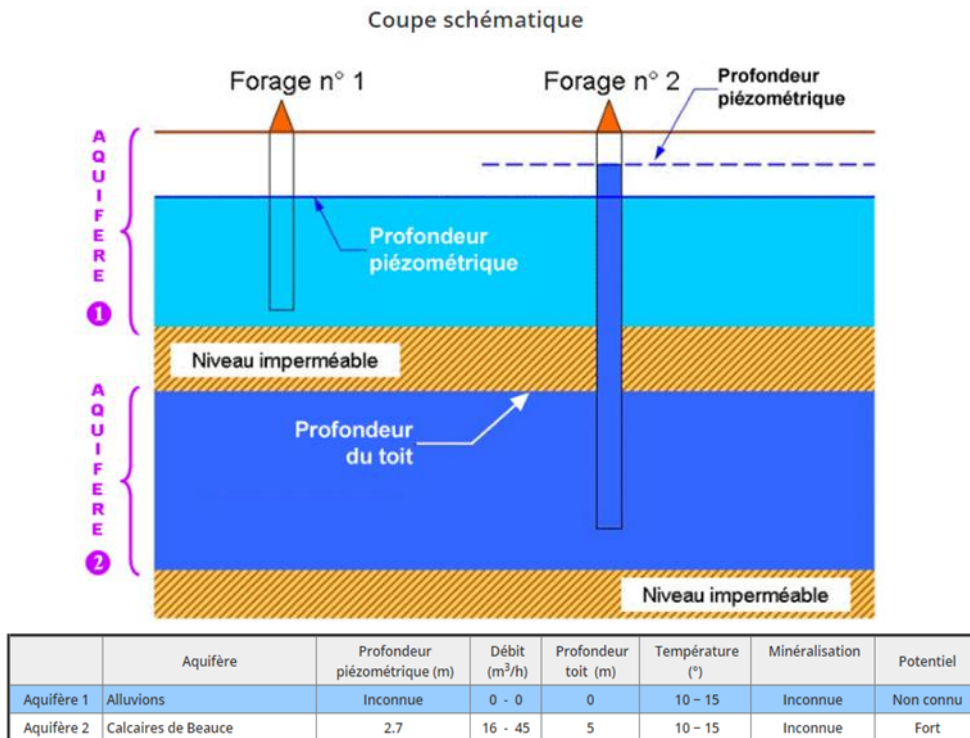


Figure 14 : potentiel géothermique des aquifères au niveau du site (source : géothermie perspectives)

La pompe à chaleur sur aquifère est une technique qui présente de nombreux atouts, en termes de maîtrise de l'énergie, de protection de l'environnement et d'intégration architecturale. Les pompes à chaleur dites « réversibles » qui assurent la double fourniture de chaud et de froid sont particulièrement adaptées aux bâtiments recevant du public où les besoins en rafraîchissement sont souvent indispensables comme c'est le cas du projet.

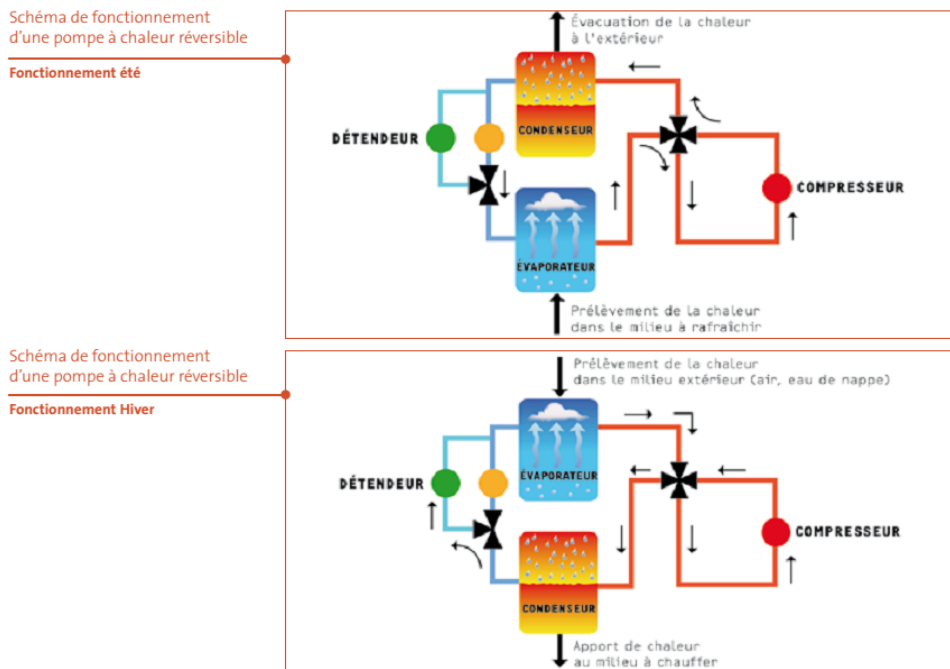


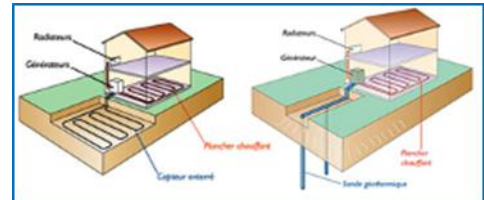
Figure 15 : Schémas de fonctionnement d'une PAC réversible en été et en hivers (source : géothermie perspective)

Pour valider ce potentiel, des forages prospectifs devront être réalisés, toutefois au vue des données collectées, cette solution sera étudiée par la suite.

5.6.3 La géothermie sur sonde

Il est également possible de recourir à des sondes géothermiques verticales ou horizontales, plus coûteuses généralement, mais qui permettent d'exploiter des contextes géologiques plus perturbés comme cela semble être le cas du projet à l'étude.

Un fluide caloporteur les parcourt et capte la chaleur du sous-sol. Dans un contexte d'aménagement relativement dense, les sondes verticales semblent davantage pertinentes pour réduire l'emprise au sol.



► Productivité des sondes :

Le calcul suivant permet d'estimer la productivité d'une sonde verticale :

Psol, puissance thermique récupérable dans le sol par mètre linéaire de sonde = 45 W/ml

L, longueur de la sonde = 199 ml (pour des raisons de réglementation, il est souvent choisi de ne pas forer au-delà de 200m de profondeur⁴)

Psonde, puissance thermique fournie par une sonde : $P_{sol} \times L = 9 \text{ kW}$

COP, coefficient de performance global annuel = 3,1

Pth, puissance thermique fournie au bâtiment en sortie de PAC = $P_{sonde} / (1-1/COP) = 13 \text{ kW}$

⁴ Le nouveau cadre réglementaire relatif à la géothermie dite "des sites géothermiques minime importance" prévu par le code minier est en consultation. Il précise une augmentation de la profondeur maximale ouvrages de 100 mètres à 200 mètres.

Pour contextualiser, la puissance de chauffage nécessaire au projet peut être estimée à près de 3 800 kW soit 290 sondes.

Cependant, utiliser un appoint pour couvrir les pics de consommation permet de diminuer significativement le nombre de sondes à installer et les investissements associés, et permet ainsi une optimisation économique de l'installation. Cet aspect pourra être développé lors de l'analyse technico-économique. De plus, comme pour la géothermie sur nappe, l'utilisation d'une PAC réversible permet également de couvrir les besoins en froid.

5.6.4 Puit climatique

Le principe de fonctionnement du puits climatique est de faire circuler l'air extérieur dans des tubes enterrés à une profondeur où la température du sol varie peu. Au contact du sol, l'air gagne ou perd des calories et pénètre dans l'habitat par l'intermédiaire d'une ventilation. Le puits climatique est qualifié de « canadien » lorsqu'il permet d'insuffler de l'air chaud dans l'habitat ou encore de « provençal » lorsque cet air permet de refroidir la température intérieure ; puits canadien et puits provençal qualifient un seul et même système.

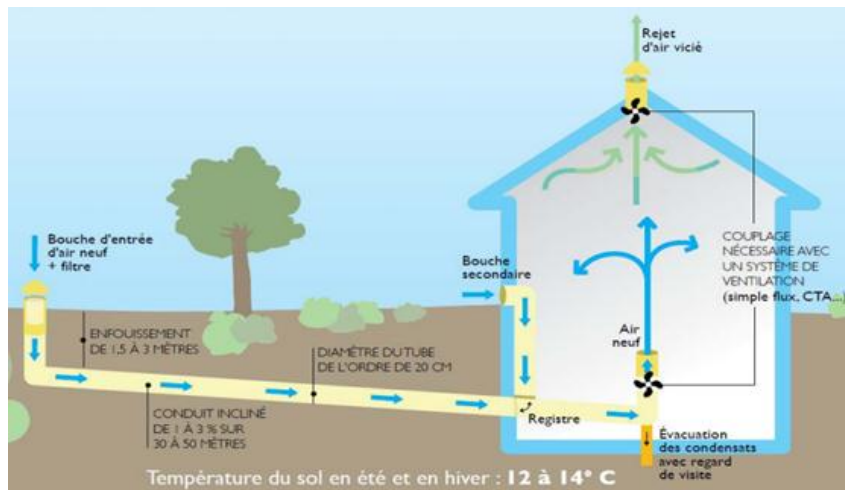


Figure 16 : Principe de fonctionnement d'un puit climatique (source : ADEME /ADG)

Du fait de la relative délicatesse de sa conception et de sa gestion, le puits climatique ne permet pas de réduire spectaculairement les consommations d'énergie et reste un équipement complexe à mettre en œuvre (source : ADEME). En effet sa conception est fortement dépendante du contexte et de la nature et la constitution du sol. Son efficacité quant à elle, est d'autant meilleure que l'installation aéraulique raccordée au puit climatique fonctionne en continu et que les charges thermiques (apports internes et externes) sont faibles en été.

Cette solution paraît donc peu adaptée à des bâtiments comme le Parc des expositions ou la salle sportive accueillants un nombre important de visiteurs et nécessitant des flux de ventilation importants.

5.7 L'aérothermie

L'aérothermie consiste à utiliser une pompe à chaleur sur l'air extérieur. Si les investissements sont inférieurs à la géothermie (pas de forage), le coefficient de performance du système est globalement moins bon car la température extérieure atteint des températures plus basses (particulièrement pendant la période de chauffage). Dans les cas extrêmes, le COP (rapport de l'énergie thermique obtenue sur l'énergie électrique dépensée) tend vers 1 et le système s'approche des performances d'un radiateur électrique à convection classique. Le recours à une pompe à chaleur est donc acceptable pour des bâtiments récents et bien isolés ayant des besoins de chauffage réduits dans des zones climatiques plutôt tempérées.

Dans le cas du projet, l'aérothermie est une solution de chauffage qui pourrait convenir aux bâtiments neufs. A noter que les pompes à chaleurs peuvent soit être utilisées pour le chauffage, soit pour le chauffage et l'ECS, soit enfin pour l'ECS seule (on parle dans ce cas de ballon thermodynamique, la pompe à chaleur étant intégrée au ballon d'eau chaude). De même que pour la géothermie, l'utilisation d'une PAC réversible permet également la production de froid.

5.8 La cogénération

La cogénération ne représente pas en soi une source d'énergie renouvelable au sens strict du terme, mais est plutôt une variante technique d'une chaudière à gaz ou biomasse.

Un système de cogénération est conçu pour produire à la fois de la chaleur et de l'électricité. L'électricité produite permet de combler des besoins électriques locaux (autoconsommation) ou peut être revendue sur le réseau électrique. Une partie de la chaleur de combustion est récupérée pour répondre aux besoins thermiques locaux : chauffage de bâtiments ou procédés industriels. Les équipements de cogénération sont habituellement activés par la combustion de gaz naturel ou de biomasse.

La viabilité financière des systèmes de cogénération est complexe et dépend de l'usage prioritaire qui en est fait. En pratique, l'intérêt n'est vérifié que pour des installations présentant des besoins très constants en chaleur. Le projet étant caractérisé par une intermittence d'usage importante et des charges internes élevées, les besoins en chauffage sont très irréguliers et la pertinence de cette solution est donc faible.

5.9 Les réseaux de chaleur ou de froid

L'étude de potentialité du raccord à un réseau de chaleur ou de froid existant ou la création d'un réseau est un des axes de travail obligatoire de l'étude de faisabilité EnR. En effet, ces solutions mutualisées de production énergétique sont un moyen de développer à grande échelle les énergies renouvelables. Le réseau de chaleur permet de bénéficier de l'effet de foisonnement⁵ et donc parfois de diminuer les coûts d'investissement.

La ville d'Orléans comporte deux réseaux de chaleur, chauffant 25 000 équivalents logements à la Source et sur les secteurs centre-ville/nord. Ces deux réseaux ont fait l'objet d'un important programme de passage au bois-énergie avec la construction de deux centrales biomasse en 2012 et 2014.

Le réseau centre-ville/nord, alimenté à 81 % par du bois énergie, est exploité par ENGIE Cofely pour une durée de 20 ans. Une société dédiée à la gestion du réseau de chaleur a été créée : SODC.

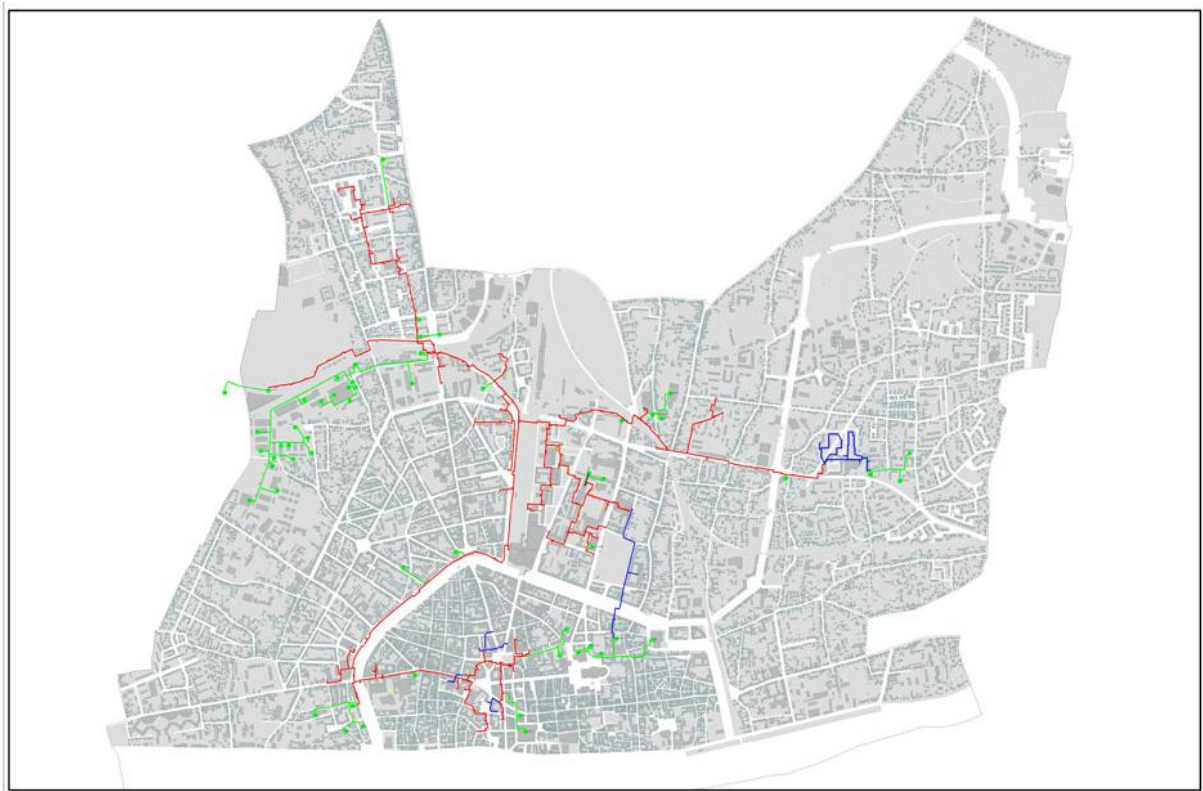


Figure 17 : plan du réseau de chaleur urbain centre-ville/nord d'Orléans (source : SODC)

⁵ Le phénomène de foisonnement est observé quand les usages de chaleur/froid sont désynchronisés sur la zone (usages de jour et de nuit par exemple). Dans ce cas, la mutualisation des systèmes de production énergétique permet un dimensionnement inférieur à la somme des équipements individuels. En pratique, plus la diversité des activités de la zone alimentée par un réseau est grande, plus le foisonnement est grand. Sur des réseaux urbains importants, ce foisonnement peut atteindre 50%, ce qui signifie que l'on peut réduire de moitié la puissance des équipements par rapport à la somme de celles des solutions individuelles.

Le réseau de chaleur du sud d'Orléans est exploité par Socos (Société de chauffage d'Orléans La source), une filiale de Dalkia. Il est alimenté par une chaufferie biomasse de 25 MW thermique de cogénération : elle produit simultanément :

- de la chaleur pour le réseau de chauffage urbain du quartier (puissance thermique de 17 MW),
- de l'électricité injectée sur le réseau public et vendue à EDF (puissance électrique de 7,5 MW).

Ce réseau est plus proche du projet et dessert près de 7 500 logements et plusieurs importants bâtiments (établissements scolaires, bureaux, commerces...), pour un total de 13 000 équivalents-logements chauffés.

Pour apprécier la pertinence du raccordement, il faut calculer la densité énergétique du futur réseau. Elle représente la quantité d'énergie distribuée sur la longueur du réseau à installer. Plus la densité du réseau est élevée, plus l'installation est justifiée. A l'inverse, un réseau de faible densité va entraîner trop de pertes en ligne par rapport à l'énergie réellement distribuée. Une estimation de la longueur de réseau nécessaire a été faite d'après le plan d'implantation ci-contre.

La longueur du réseau pour raccorder la zone du projet est estimée à 3 500 m. La densité d'un réseau pour le projet d'aménagement est calculée ci-dessous à partir de cette valeur :

C_{Ac} – consommation thermique utile en chauffage et ECS annuelle du projet = 920 MWh/an

L – longueur du réseau = 3 500 mètres linéaires

D_c – densité énergétique du réseau de chaleur = $C_{Ac}/L = 0.26 \text{ MWh}/(\text{ml.an})$

La densité énergétique estimée est très faible pour l'extension du réseau (l'ADEME conditionne ses aides Fonds Chaleur à une densité énergétique de 1.5 MWh/(ml.an)) et ne permet pas d'envisager le raccordement au réseau actuel. En cas de travaux d'extension du réseau vers le nord-ouest et raccordement d'autres quartiers, cette solution pourra cependant devenir pertinente.

Pour atteindre cette densité thermique limite de 1.5 MWh / (ml.an) il faudrait aller chercher environ 4 500 MWh supplémentaires entre le réseau de chaleur actuel (quartier de la Source) et le site, en passant par la commune d'Olivet. Le Zenith pourrait contribuer à hauteur de 300 MWh, reste néanmoins à trouver 4 200 MWh.

L'outil EQUITEE développé par Burgeap, permet d'estimer, à l'échelle de l'IRIS, le potentiel de livraison de chaleur en réseau qui correspond aux consommations de chaleur (chauffage et ECS) des bâtiments collectifs actuellement desservis par un système de chauffage central collectif (en pied d'immeuble). Cet indicateur permet d'identifier rapidement les quartiers où un gisement de substitution existe. Pour les quartiers où un gisement existe, une étude complémentaire doit être menée afin d'évaluer la faisabilité du déploiement d'un réseau de chaleur, notamment au regard de la densité thermique associée aux bâtiments à raccorder.

Des potentiels importants sont présents à proximité du tracé potentiel du réseau de chaleur, avec notamment un centre commercial au sud-ouest du site et des immeubles collectifs au-dessus du quartier de la Source :

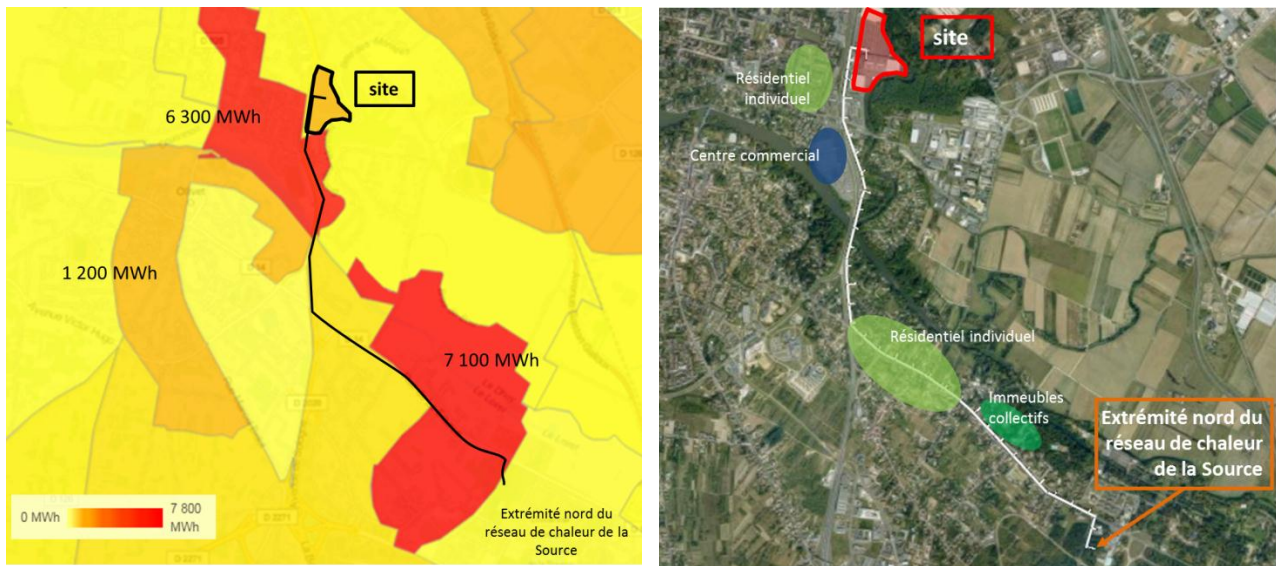


Figure 18 : Tracé potentiel pour raccorder le site au réseau de chaleur de la Source et potentiel de livraison de chaleur en réseau (MWh), source : Equitée (à gauche) et consommateurs de chaleur potentiels (à droite)

Néanmoins, le site seul ne permettant pas d'envisager un raccordement, cette solution ne sera pas davantage développée dans la suite de l'étude.

5.10 Synthèse de l'analyse de potentiel en EnR

Tableau 5 : synthèse de l'analyse du potentiel du site en énergies renouvelables et de récupération

Ressource énergétique		Disponibilité de la ressource	Potentiel de la ressource	Avantages	Inconvénients	Conclusion intermédiaire
Hydraulique		Très faible	Nul			Potentiel absent
Solaire	Thermique	Forte (Surface de panneaux envisageable : 10 000 m ² en toiture)	Productible annuel = 1 420 MWh	- Energie « gratuite » et sans nuisances - Energie décarbonée en termes de production	- Nécessité d'un système d'appoint - Production et consommation désynchronisées → Stockage nécessaire	Potentiel moyen
	Photovoltaïque			Productible annuel = 4 260 MWh	- Energie « gratuite » et sans nuisances - Energie décarbonée en termes de production	- Concurrence le solaire thermique en termes d'espace
Eolienne	Grand éolien	Impossible en secteur urbain				Potentiel inexploitable
	Petit éolien	Aléatoire et d'ampleur non significative				Potentiel faible à nul
Biomasse	Bois-énergie	Forte au niveau régional (nécessite fret)	Moyen au vu des caractéristiques du projet	- Source décarbonée	- Fret conséquent - Emprise foncière importante Besoins ponctuel et en froid	Potentiel faible

Ressource énergétique		Disponibilité de la ressource	Potentiel de la ressource	Avantages	Inconvénients	Conclusion intermédiaire	
	Biogaz	Déchets urbains	Faible			Potentiel inexploitable à l'échelle du site	
Géothermie	Haute énergie						
	Moyenne énergie						
	Basse énergie						
	Très basse énergie	PAC sur nappe	Aquifère identifié (BRGM)	Fort, à valider	- Source d'énergie peu chère (électricité à haut rendement)	- Investissement conséquent	Potentiel fort
		PAC sur sonde	Oui (à confirmer sur site)	Suffisant	- Nuisances réduites - Etudes complémentaires nécessaires	- Investissement conséquent	Potentiel moyen à fort
Puit climatique		Oui (à confirmer)	Moyen au vu des caractéristiques du projet	- Amélioration du confort d'été	- Peu adapté aux besoins intermittents du projet - Conception complexe	Potentiel faible	
Aerothermie		Oui (air)	Potentiel suffisant	- Investissements faibles	Moins performante que la géothermie	Potentiel moyen	
Réseaux de chaleur/froid	Existant	Réseau urbain d'Orléans sud à 2.7km	Faible au vue de la distance et des faibles besoins du projet	- énergie en partie renouvelable à prix maîtrisé	- Investissements en réseaux importants - Gestion des sols pollués	Potentiel faible	
	Création	(cf. énergie associée) faible densité du projet		- mix renouvelable possible	- portage local nécessaire	Potentiel faible	

6. Conclusions intermédiaires : scénarios énergétiques retenus

Au regard de l'analyse des besoins du site, et de l'analyse du potentiel en énergies renouvelables, les scénarios d'approvisionnement suivant ont été retenus :

- Scénario conventionnel « Econv » :
 - Production de chaleur (chauffage et ECS) avec des chaudières au gaz naturel à condensation et groupes froids pour le rafraîchissement.

- Scénario « ENR 0 » :
 - Production de chaleur (chauffage et ECS) et de froid avec des pompes à chaleur (PAC).

- Scénario « ENR 1 » :
 - Production d'ECS avec des panneaux solaires thermiques
 - Production de chaleur (chauffage, appoint ECS) et de froid avec des pompes à chaleur (PAC).

- Scénario « ENR 2 » :
 - Production de chaleur avec pompes à chaleur eau/eau alimentées par la géothermie sur nappe
 - Production de froid par les pompes à chaleur alimentées par la géothermie sur nappe (système réversible),
 - Appoint gaz pour la production de chaleur (optimisation du dimensionnement géothermique) et appoint groupe froid pour la production de froid.

La chaudière gaz du Zénith étant très récente, il n'a pas été prévu de substitution dans le cadre de ces scénarios, et les coûts en combustible pour le Zénith, par conséquent identiques quel que soit le scénario, n'ont donc pas été pris en compte pour l'analyse économique qui suit. Cependant, il sera intéressant lorsque la chaudière sera amortie (d'ici une quinzaine d'année) d'étudier une substitution à partir d'énergies renouvelables.

Rq : La pertinence d'installer des panneaux solaires photovoltaïques pourra être étudiée une fois les choix architecturaux arrêtés (et en fonction de l'espace disponible en toiture).

- Etude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables
6. Conclusions intermédiaires : scénarios énergétiques retenus

CAHIER 2

7. Besoins de puissance

La consommation énergétique seule ne suffit pas à caractériser une installation de production énergétique. Il faut également étudier sa puissance. La puissance d'une installation est sa capacité à dispenser de l'énergie plus ou moins rapidement. Or, les besoins calculés précédemment ne sont pas constants tout au long de l'année. Ils varient en fonction de paramètres climatiques (température extérieure, apports solaires) et d'usage (occupation des bâtiments, utilisation des équipements, etc.)

Pour retrouver cette puissance, les besoins énergétiques déterminés précédemment sont croisés avec les profils d'occupation du Parc des expositions et de la salle sportive. La simulation avec des températures maximales et minimales enregistrées sur Orléans permet de dimensionner les équipements.

Le maximum atteint est la puissance utile à installer. Ces calculs de puissance théoriques seront relevés d'un facteur de sécurité de 1,3 dans l'étude économique.

7.1 Scénario Econv

Rappel : le scénario conventionnel, Econv, consiste en la production de chaleur grâce à des chaudières gaz et la production de froid avec des groupes froids.

Production de chaleur

La puissance utile installée, nécessaire pour les usages de chaleur cumulés (chauffage et ECS) des bâtiments du projet, est de 3 900 kW.

Production de froid

La puissance de froid nécessaire au site est de 2 200 kW.

Un facteur de surdimensionnement de 1,3 sur les puissances sera pris pour le calcul des investissements.

Scénario EnR 0 Rappel : le scénario EnR 0 consiste à la production de chaleur pour le chauffage et l'ECS grâce à des pompes à chaleur air-air.

Production de chaleur

La puissance utile installée, nécessaire pour les usages de chaleur cumulés (chauffage et ECS) des bâtiments du projet est la même que dans le scénario précédent : 3 900 kW.

Production de froid

De même, la puissance de froid nécessaire au site est de 2 200 kW.

Un facteur de surdimensionnement de 1,3 sur les puissances sera pris pour le calcul des investissements.

7.2 Scénario EnR 1

Rappel : ce scénario prévoit la production d'ECS solaire et la production de chaleur (chauffage, appoint ECS) et de froid avec des pompes à chaleur (PAC).

Production de chaleur

La production d'ECS est assurée en base par des panneaux solaires thermiques : environ **50 m² de panneaux permettent de couvrir près de 60 % des besoins en eau chaude**. L'appoint est assuré par des pompes à chaleur qui assurent également les besoins de chauffage. La puissance de l'appoint est identique à celle du scénario précédent (3 900 kW) pour permettre la production de chaleur en tout temps.

Production de froid

La puissance de froid est également identique à celle du scénario précédent : 2 200 kW.

Un facteur de surdimensionnement de 1,3 sur les puissances sera pris pour le calcul des investissements.

7.3 Scénario EnR 2

Rappel : ce scénario prévoit la production de chaleur (chauffage et ECS) avec pompes à chaleur (PAC) alimentées par la géothermie sur nappe. Un appoint par une chaudière gaz est prévu pour le chaud et l'ECS, un appoint par un groupe froid est prévu pour le froid.

Production de chaud

Il n'est pas forcément intéressant de chercher à couvrir 100% des besoins avec la géothermie. En effet, la production pendant les périodes de pointes nécessite de fortes puissances installées qui se traduisent par des investissements conséquents.

Ainsi, avec environ 50% de la puissance installée, il est possible d'assurer près de 80% des besoins en chaud. Le reste des besoins en chaud est assuré par des chaudières gaz.

Cette solution nécessite l'installation d'environ 5 pompes de pompage dans la nappe, et 10 pompes d'injection d'un débit unitaire de 50m³/h (la proximité du niveau impliquera probablement des difficultés d'injection d'où la nécessité de doubler le nombre de pompes d'injection).

Production de froid

La majorité des besoins en froid est couverte par la géothermie sur nappe via des pompes à chaleur réversibles. Un appoint par un groupe froid est prévu pour couvrir les pics de consommations.

Un forage d'essai sera nécessaire pour valider techniquement les hypothèses considérées, son coût se situe entre 30 et 40 k€/forage.

8. Analyse multicritère des scénarios retenus

8.1 Coûts d'investissements

La puissance des installations, déterminée précédemment, permet d'estimer les investissements liés. Le tableau ci-dessous présente l'estimation de ces investissements :

Tableau 6 : coûts estimés des équipements de production énergétique

Scénario	Equipements pris en compte	Investissement en k€ HT	Investissement total en k€ HT
Econv	Achat et installation chaudières gaz à condensation	600	800
	Achat et installation groupe froid	200	
ENR 0	Achat et installation PAC	4 400	4 400
ENR1	Achat et installation PAC (chauffage, appoint ECS)	4 400	4 450
	Achat et installation des panneaux solaires et des ballons tampons	50	
ENR2	Achat et installation chaudière gaz (appoint chaud)	250	3 600
	Achat et installation groupe froid (appoint froid)	80	
	Forages géothermiques	1 800	
	Achat et installation de PAC sur eau	1 500	

Ces estimations sont des ordres de grandeurs issus de données moyennes et de la consultation de fournisseurs, une fois les besoins énergétiques précisés, cela permettra dans la suite du projet d'affiner ces prévisions économiques. Elles sont données ici à titre indicatif.

Il est à noter que le coût d'investissement réel d'un système de PAC sur nappe géothermique sera potentiellement plus faible en raison des aides financières proposées par l'ADEME pour ce type de projet. A titre d'exemple, le projet de géothermie sur nappe pour l'EHPAD « Le Champgarnier » à Meung-sur-Loire (45) a été subventionné à hauteur de 29.3% soit 113,5 k€ (2012). Voir Annexe 1.

8.2 Coût global annualisé

Le coût d'investissement seul est une vision cependant très court terme de la problématique énergétique. Pour apprécier le coût réel d'un scénario sur l'ensemble de sa phase de vie, le coût global annualisé des 3 scénarios a été calculé. Il s'agit du coût total sur 20 ans (investissement et fonctionnement) rapporté à l'année.

8.2.1 Paramètres financiers

Les paramètres suivants sont fixés pour la suite de l'étude :

- Durée d'observation économique : 20 ans
- Part de l'investissement en fond propre : 20 %
- Taux d'intérêt de l'emprunt : 3 %

8.2.2 Evolution des prix de l'énergie

Afin de calculer les dépenses liées aux combustibles, il convient de s'interroger sur l'évolution des prix de l'énergie au cours des 20 prochaines années. Deux analyses sont envisagées, l'une avec une augmentation de 2%/an du prix des énergies conventionnelles et l'une avec une augmentation de 4%/an.

8.2.3 Résultats économiques⁶

Pour rendre l'analyse du coût global annualisé possible, ce dernier est décomposé en 4 parties distinctes :

- Investissement (calculé au chapitre 5.1, affiché en fond propre et emprunt puis ventilé sur 20 ans),
- annuités de l'emprunt,
- coûts de maintenance courante,
- coûts de maintenance exceptionnelle,
- coût du combustible.

Les résultats de l'analyse sont présentés dans les deux graphiques suivants, pour une [augmentation du prix des énergies conventionnelles de 2%/an, puis de 4%/an](#) :

⁶ Le calcul est réalisé « hors externalités » (gestions des terres, enveloppe du bâti, etc.)

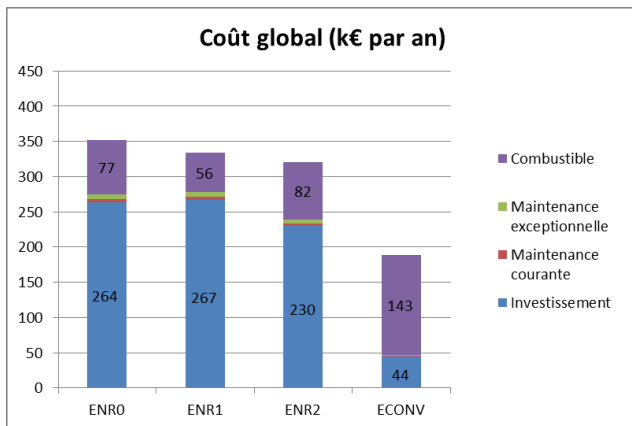


Figure 19 : coût global annualisé des scénarios retenus (en k€/an sur 20 ans) pour une augmentation du prix des énergies conventionnelles de 2%/an

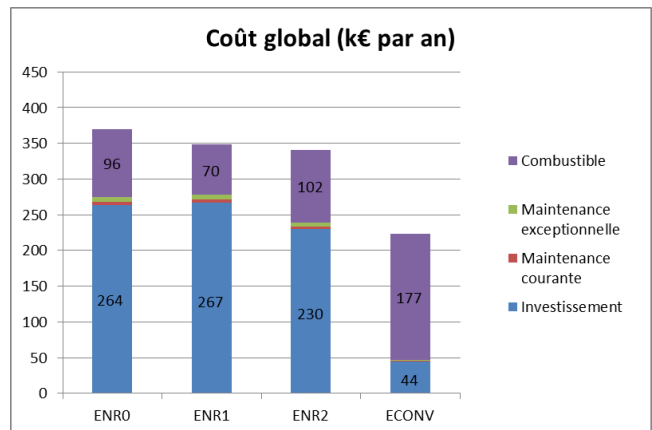


Figure 20 : coût global annualisé des scénarios retenus (en k€/an sur 20 ans) pour une augmentation du prix des énergies conventionnelles de 4%/an

Ici les solutions sont comparées sur une durée de 20 ans, il est à noter qu'une installation de géothermie sur nappe a une durée de vie plus importante (de 30 à plus de 50 ans pour les installations actuelles).

Il est nécessaire d'insister sur l'aspect indicatif des résultats obtenus à ce stade. En effet, les ratios de coûts utilisés sont basés sur des retours d'expériences et peuvent être sensiblement différents au cas par cas.

Cependant, l'analyse est suffisamment fine pour mettre en évidence certaines tendances générales qui sont résumées ci-dessous :

- Le scénario Econv s'illustre comme étant le plus économique en termes d'investissements, les scénarios ENR ont des coûts d'investissement environ 4 fois plus importants.
- Cependant sur 20 ans l'écart se réduit de moitié, le scénario conventionnel ayant des dépenses de combustibles fossiles importantes tandis qu'une grande part du coût global des scénarios ENR est liée à l'investissement (60 à 70% contre 13% dans le scénario Econv).
- Les scénarios ENR, du fait de la faible part du coût des combustibles dans leur coût global, sont moins sensibles à l'augmentation des prix de l'énergie.

8.2.4 Résultats environnementaux

Les quatre scénarios retenus sont comparés sur quatre critères environnementaux : leurs émissions annuelles de gaz à effet de serre, de particules (PM10 et PM2.5) et de déchets radioactifs. Les usages pris en compte dans ce calcul sont la production de chaleur pour le chauffage et l'ECS, ainsi que la production de froid.

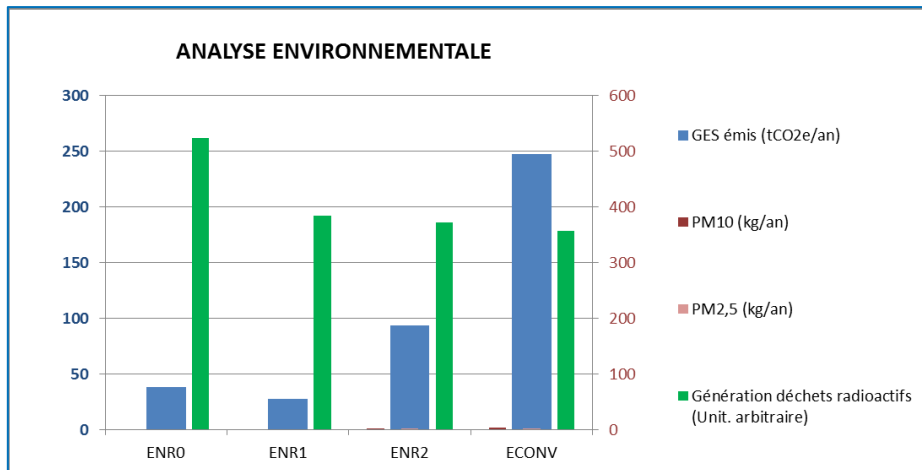


Figure 21 : comparatif environnemental (GES, particules et déchets radioactifs) des scénarios retenus

Le scénario Econv est le plus émetteur en termes de gaz à effet de serre, en lien avec la combustion de gaz, émettrice de CO₂. Selon ce critère, le scénario ayant le moins d'impact est le scénario ENR1 pour lequel les émissions de GES sont divisées par 9 par rapport au scénario conventionnel. Les scénarios ENR0 ENR2 divisent respectivement ces émissions par 7 et 3.

Le scénario Econv est le plus émetteur en termes de déchets radioactifs en lien avec la consommation d'électricité pour le fonctionnement des pompes à chaleur. Les autres scénarios sont semblables selon ce critère.

Aucun des scénarios n'émet de particules, celles-ci étant générées par la combustion de biomasse essentiellement.

9. Conclusion

L'étude de faisabilité du potentiel de développement en énergies renouvelables du projet de Parc des Expositions et Salle Sportive, à Orléans, s'est déroulée en trois étapes.

Dans un premier temps, la **caractérisation des besoins en énergie** a permis d'estimer les apports en énergie nécessaires au fonctionnement du projet. Ainsi, sur l'ensemble de la zone, **les besoins de chaleur en énergie utile s'élèvent à près de 920 MWh/an auxquels s'ajoutent les 343 MWh liés à la combustion de gaz dans la chaudière du Zenith**. La répartition de ces besoins au cours de l'année a permis de dimensionner les installations de production énergétique nécessaires.

Dans un deuxième temps, **l'analyse du potentiel en énergies renouvelables** de la zone a permis de dégager l'utilisation des énergies renouvelables et de récupérer les plus pertinentes au regard des contraintes du projet. Le recours à **l'aérothermie, au solaire thermique, à la géothermie sur nappe** ont été identifiés comme pertinents.

- Scénario Econv : installation de chaudières gaz et groupes froid ;
- Scénario ENR 0 : recours à des PAC sur air pour la production de chaud et de froid ;
- Scénario ENR1 : recours à des panneaux solaires pour l'ECS, PAC assurant l'appoint en ECS, les besoins de chauffage et de froid ;
- Scénario ENR2 : production de chaleur et de froid grâce à des pompes à chaleur alimentées par la géothermie sur nappes (appoint gaz pour le chaud et groupe froid).

Enfin, une **analyse économique** a permis de comparer les différents scénarios, en prenant à la fois en compte l'investissement et son financement, mais également les coûts de fonctionnement, tout en intégrant l'évolution des prix de l'énergie. Les résultats montrent que les solutions EnR envisagées peuvent être plus intéressantes sur le plan économique en coût global que les solutions conventionnelles.

Pour compléter la comparaison, les différents **impacts environnementaux** (gaz à effet de serre, émissions de particules fines, et génération de déchets radioactifs) de chaque scénario ont été évalués.

A titre de synthèse, le tableau suivant présente les résultats de la comparaison des scénarios en les classant du plus avantageux (note : 1) au moins avantageux (note : 3) sur les différents critères économiques et environnementaux :

Tableau 7 : synthèse du comparatif des différents scénarios

	Scénario Econv	Scénario ENR0	Scénario ENR1	Scénario ENR2
Coût global*	1	4	3	2
Investissement*	1	3	4	2
Impact GES	4	1	1	2
Impact particules	1	1	1	1
Impact déchets nucléaires	1	4	3	2
Sensibilité à l'évolution des prix de l'énergie	4	2	1	2

* Hors externalités (gestions des terres, enveloppe du bâti, etc.).

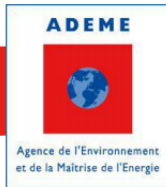
L'analyse multicritère permet de valider, au stade de la pré-faisabilité, la pertinence des scénarios ENR qu'il convient néanmoins de mettre en regard des contraintes liées aux réseaux. En effet, bien que leur investissement soit supérieur à celui d'une solution traditionnelle, ils permettent des coûts de fonctionnement réduits et un impact environnemental mieux maîtrisé.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche de cas de géothermie sur nappe en Loiret.

LES EXEMPLES À SUIVRE

En région



Géothermie sur nappe pour l'EHPAD « Le Champgarnier » à Meung-sur-Loire (45)

- Énergies et matières renouvelables
- Centre

Pourquoi agir ?



Organisme

Maître d'ouvrage : SNC Meung sur Loire EHPAD (BFC Groupe)

Partenaire

ADEME Direction Régionale Centre

Coût

- Coût total : 388 k€ dont :
- Capteurs sous-sol et liaison forages/PAC : 138,3 k€
 - Equipements de surface (pompe à chaleur, pompes de circulation...): 106,7 k€
 - Production ECS : 86,1 k€
 - Comptage, métrologie : 1,9 k€
 - Ingénierie, conception et réalisation : 54,8 k€

Financement ADEME : 113,5 k€ (29.3%)

Bilan en chiffres

- Environnement : 132,8 tCO₂ évitées /an et 45 Tep EnR valorisées/an
- Economies annuelles d'exploitation: 13 215 € HT

Date de lancement

2012

L'EHPAD (établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes) « Le Champgarnier » situé à Meung-sur-Loire a lancé, en 2012, la construction d'un nouveau bâtiment en ayant recours à un Partenariat Public Privé, confié à BFC Groupe.

Achévé fin 2013, le nouvel EHPAD de Meung sur Loire a une capacité d'accueil de 132 places, dont 96 lits en hébergement polyvalent, 26 lits pour les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, et 10 places d'accueil de jour. A ces chambres s'ajoutent une cuisine, une salle de soins et une salle de vie. Enfin, une partie du bâtiment est réservée à l'administration. Au total, ce sont près de 6500 m² qui doivent être chauffés.

BFC Groupe a souhaité investir dans un établissement vertueux offrant un bon confort d'été offert aux résidents. Ainsi, dès la phase de conception des bâtiments, le projet affiche des ambitions énergétiques élevées : il vise les performances d'un bâtiment niveau BBC (bâtiment basse consommation). Aussi les postes de chauffage-rafraîchissement et de production d'eau chaude sanitaire, très consommateurs en énergie (les besoins annuels sont estimés à 399 MWh en chaud, 22 MWh en froid et 235 MWh en eau chaude sanitaire), sont assurés par une solution géothermique, qui allie performances, fiabilité et faibles impacts environnementaux.

L'ADEME a soutenu ce projet dans le cadre du Fonds Chaleur qui a pour objectif de développer la production de chaleur à partir des énergies renouvelables (biomasse, géothermie, solaire thermique, méthanisation...). Ce fonds est destiné à l'habitat collectif, aux collectivités et à toutes les entreprises (agriculture, industrie, tertiaire).



Géothermie sur nappe pour l'EHPAD Le Champgarnier de Meung-sur-Loire (45)

Exemples à suivre téléchargeables sur le site de l'ADEME (www.ademe.fr).

Présentation et résultats

Enseignements :

Bâtiment Force Centre :

« La géothermie sur nappe nous a permis de nous démarquer et d'apporter une réelle plus-value à la personne publique : qualité environnementale, gain sur les consommations et confort d'été par le rafraîchissement de tous les locaux de l'EHPAD. La volonté d'utiliser la géothermie a été renforcée par la participation financière et technique de l'ADEME.

Il est absolument nécessaire de constituer une équipe performante avec l'hydrogéologue (Archambault) le foreur (EXEAU) le BE (LBE) et l'entreprise (Mollière). L'investissement de tous de l'étude de faisabilité jusqu'aux mises en route et suivis est primordiale.

Point négatif pour une opération de type PPP : les délais administratifs sont trop longs comparativement aux travaux. Ils induisent des risques importants pour le titulaire du marché (obtention des autorisations trop proche de la date de mise à disposition de l'EHPAD)

Actuellement l'installation donne pleine satisfaction. »



Accueil principal de l'EHPAD
Crédit photos : ADEME

L'installation géothermique sur nappe comprend 2 forages (un puits de production et un de réinjection) à 55 mètres de profondeur dans la nappe de calcaire de Beauce.

L'installation fonctionne toute l'année, durant 8 760 heures en production de chaleur et 960 heures en rafraîchissement. La PAC assure l'intermédiaire entre le réseau d'eau du sous-sol et le réseau de distribution de la chaleur ; elle développe 315 kW chaud pour les installations de chauffage par plancher chauffant (avec un coefficient de performance de 5,7) et 105 kW pour l'ECS (avec un coefficient de performance de 3,4).

Si un appoint par une chaudière gaz est prévu pour l'eau chaude sanitaire, la totalité des besoins en chauffage et en rafraîchissement sont en revanche couverts par la géothermie.

Le rafraîchissement se fait par géocooling, c'est-à-dire directement grâce à l'eau puisée sans fonctionnement de la PAC : les dépenses énergétiques et financières sont minimales et assurent néanmoins un niveau élevé de confort thermique à l'ensemble des résidents de l'établissement.

La diffusion de la chaleur et du froid se fait grâce à trois réseaux de planchers chauffants/rafraîchissants pour les chambres et les pièces de jour (salons, salle à manger, administration) ; un autre réseau à température constante assure la production d'eau chaude sanitaire ; enfin, un dernier réseau est dédié aux locaux logistiques par l'intermédiaire de radiateurs.

Au niveau environnemental, cette installation géothermique permet d'éviter le rejet de près de 133 tonnes de CO₂ dans l'atmosphère chaque année par rapport à une solution au gaz naturel. En comparaison avec cette solution de référence, la géothermie représente un surcoût financier de 269 k€. L'installation permet toutefois une économie annuelle sur les charges d'exploitation de 13 215€ par rapport à la solution gaz.

Focus

La géothermie est actuellement la seule énergie capable d'effectuer le rafraîchissement de bâtiments à moindres coûts économiques et écologiques. En effet, seules les pompes de circulation, peu consommatrices, fonctionnent en géocooling. De plus, la fraîcheur diffusée par géothermie est douce comparée à un émetteur de type climatiseur, beaucoup plus froid en sortie de bouche, et la diffusion de froid (et de chaud) par les planchers chauffants rafraîchissant est particulièrement adaptée aux établissements recevant des personnes fragiles, parfois incommodées par les mouvements d'air et les écarts de température trop importants.

Facteurs de reproductibilité

D'autres établissements de santé et de soins, comme des hôpitaux ou des maisons d'accueil de personnes handicapées, ont fait le choix d'un système géothermique pour assurer leurs besoins en chauffage et en rafraîchissement. Souvent très consommateurs en énergie, ces structures doivent bénéficier d'un fonctionnement parfait de leurs installations de chauffage. La géothermie répond à des critères exigeants, en tant qu'énergie fiable indépendante des conditions atmosphériques, disponible localement et peu énergivore.

POUR EN SAVOIR PLUS

Sur le site internet de l'ADEME :
www.ademe.fr/emr

Le site de l'ADEME Centre :
<http://www.centre.ademe.fr>

Le site de l'EHPAD « Le Champgarnier » :
<http://www.champgarnier.fr>

CONTACTS

ADEME Centre
Tél : 02.38.24.00.00

Réf : CICEIF160780 / RICEIF00354	
MADE / MCN / MCS	
04/05/2016	Page 51/51