

## ANALYSE DU POTENTIEL EN ÉNERGIES RENOUVELABLES

### PROJET DE REQUALIFICATION DU SECTEUR DESSAUX-LES AUBRAIS



---

Réf : 2014.299-E01 C

10/12/2015

Rédigé par : Renaud DERRIEN

Vérifié par : François-Xavier MONACO

---

# SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>CONTEXTE DE L'ÉTUDE .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>PHASE 1 : ANALYSE DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES .....</b>	<b>4</b>
2.1.	<i>Contexte territorial du site.....</i>	<i>4</i>
2.2.	<i>Les besoins en énergie .....</i>	<i>10</i>
<b>3.</b>	<b>PHASE 2 : INVENTAIRE DU POTENTIEL EN ÉNERGIES RENOUVELABLES .....</b>	<b>13</b>
3.1.	<i>Réseaux de chaleur .....</i>	<i>13</i>
3.2.	<i>La production de froid à partir d'un réseau de chaleur .....</i>	<i>18</i>
3.3.	<i>La géothermie .....</i>	<i>19</i>
3.4.	<i>Les énergies de récupération .....</i>	<i>24</i>
3.6.	<i>L'énergie solaire.....</i>	<i>28</i>
3.7.	<i>Le Smart-Grid à l'échelle urbaine.....</i>	<i>33</i>
3.8.	<i>L'éolien.....</i>	<i>34</i>
3.9.	<i>Bilan Atouts/Contraintes .....</i>	<i>36</i>
<b>4.</b>	<b>SCÉNARIOS ÉNERGÉTIQUES RETENUS.....</b>	<b>39</b>
<b>5.</b>	<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS .....</b>	<b>40</b>

# 1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Les 28 pays de l'Union européenne ont abouti le 23 octobre 2014 à un accord sur le « Paquet Énergie-Climat » qui porte la part des énergies renouvelables à 27% de la consommation finale d'énergie. Dans la loi de transition énergétique promulguée le 18 août 2015, la France souhaite porter la part des énergies renouvelables à 32% de la consommation finale en 2030. Toutefois, la part d'énergie produite par des sources renouvelables représente actuellement environ 15 % du mix énergétique français. L'objectif national, visant à doubler cette production sur une période de 15 ans, est donc ambitieux.

■ Nucléaire ■ Energies fossiles ■ Energies renouvelables

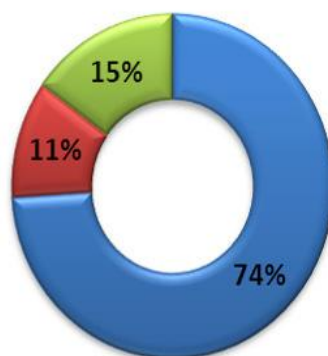


FIGURE 1 : MIX ÉNERGÉTIQUE DE LA FRANCE EN 2015

Cette loi renforce également le lien entre le climat, l'air et l'énergie d'une part et la planification et l'urbanisme d'autre part. Ainsi, la problématique de l'énergie doit être intégrée en amont des réflexions relatives à l'évolution et l'aménagement des territoires permettant la définition de politiques locales de réduction des consommations d'énergie et de limitation des émissions de gaz à effet de serre.

Au regard des différents engagements européens et nationaux en matière de production d'énergie renouvelable et de l'instabilité des prix des énergies fossiles, l'étude de faisabilité d'approvisionnement en énergies renouvelables est donc indispensable pour réussir la transition énergétique.

Dans ce contexte, l'article L128-4 du code de l'urbanisme français précise que :

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

Ainsi, la présente étude vise à définir les consommations prévisionnelles en énergie et identifier le potentiel en énergies renouvelables pour alimenter le projet InterRives. Elle servira ainsi à guider la communauté d'agglomération dans les choix stratégiques à retenir pour l'approvisionnement énergétique de ce nouvel ensemble.

Le phasage de ce projet qui s'étend sur 110 ha est le suivant :

Phase	Surface (SDP)
Phase 1 (2018-20202)	61 122 m <sup>2</sup>
Phase 2 (2022-2026)	67 727 m <sup>2</sup>
Phase 3 (Après 2026)	NC

TABEAU 1: CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU PROJET INTERRIVES



## 2. PHASE 1 : ANALYSE DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES

### 2.1. Contexte territorial du site

#### 2.1.1. Les communes d'Orléans et de Fleury-les-Aubrais

La commune d'Orléans est située à l'ouest du département du Loiret. La commune de Fleury-les-Aubrais est limitrophe à la ville d'Orléans. Elle est localisée au Nord de celle-ci.

En ce qui concerne les voies de communication :

- Les communes sont situées à proximité de l'Autoroute A 10 et de la nationale N 20.
- Orléans et Fleury-les-Aubrais sont desservies par de nombreuses liaisons ferroviaires. Un faisceau ferré important se situe sur la commune de Fleury-les-Aubrais en bordure de l'implantation prévue pour l'opération Dessaux – Les Aubrais

La commune d'Orléans compte 115 000 habitants répartis sur un territoire de 275 000 ha, la commune de Fleury –les-Aubrais compte quant à elle 21 000 habitants répartis sur 101 000 ha.

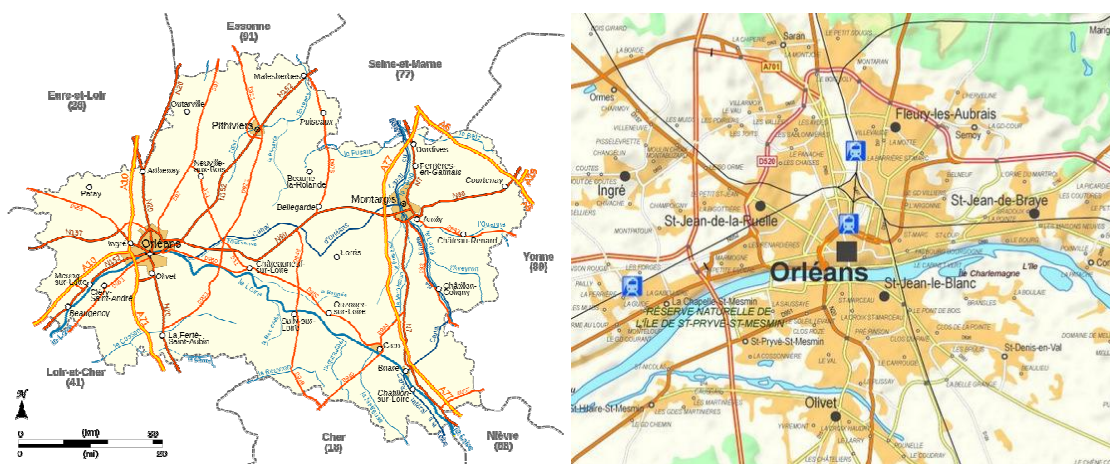


FIGURE 2 : LOCALISATION DES COMMUNES D'ORLÉANS ET FLEURY-LES-AUBRAIS

Cette étude de faisabilité d'approvisionnement en énergies renouvelables, concerne la transformation du quartier se trouvant entre le faisceau ferré et la route départementale D2020.

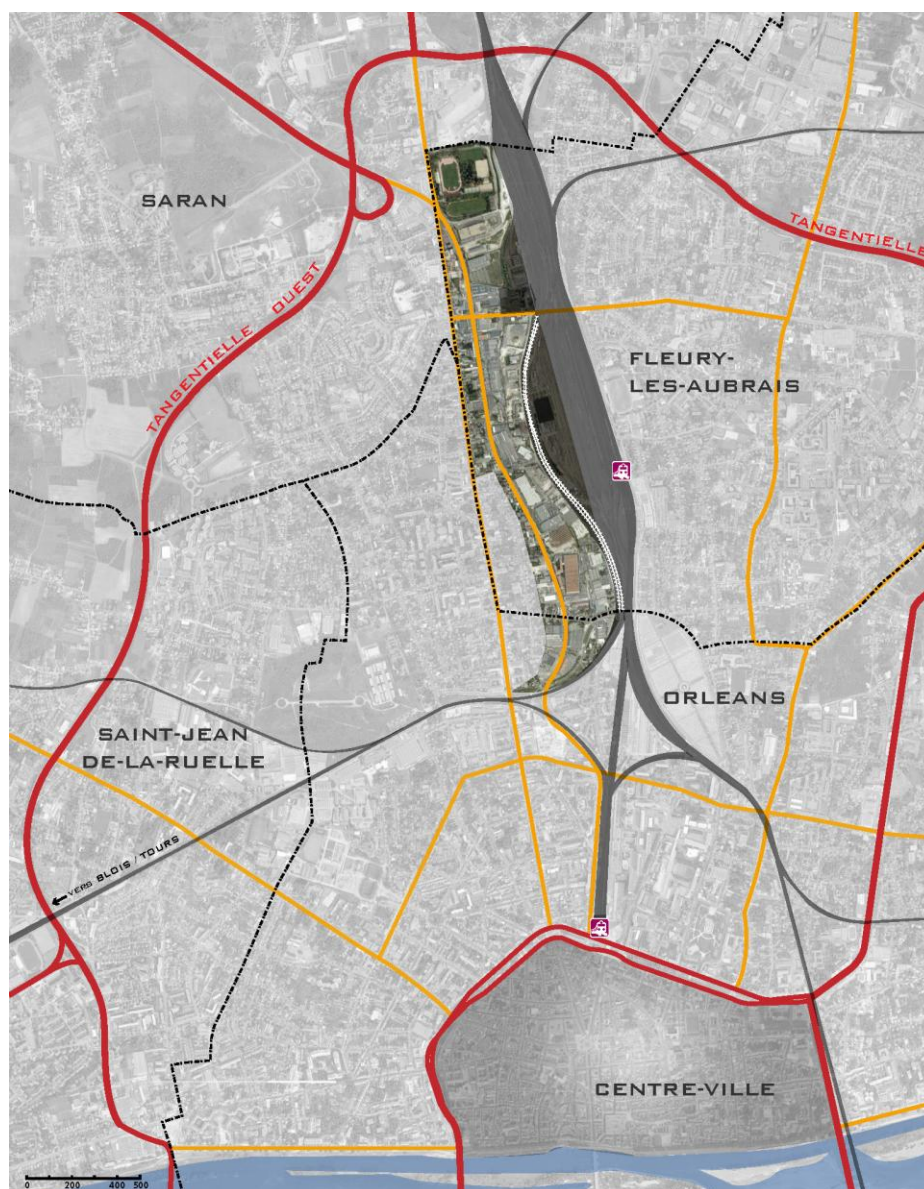


FIGURE 3 : LOCALISATION DU PROJET DESSAUX – LES AUBRAIS

### 2.1.2. Les zones protégées

La Stratégie nationale de Création d’Aires Protégées terrestres métropolitaines (SCAP) constitue un des chantiers prioritaires du Grenelle de l’Environnement.

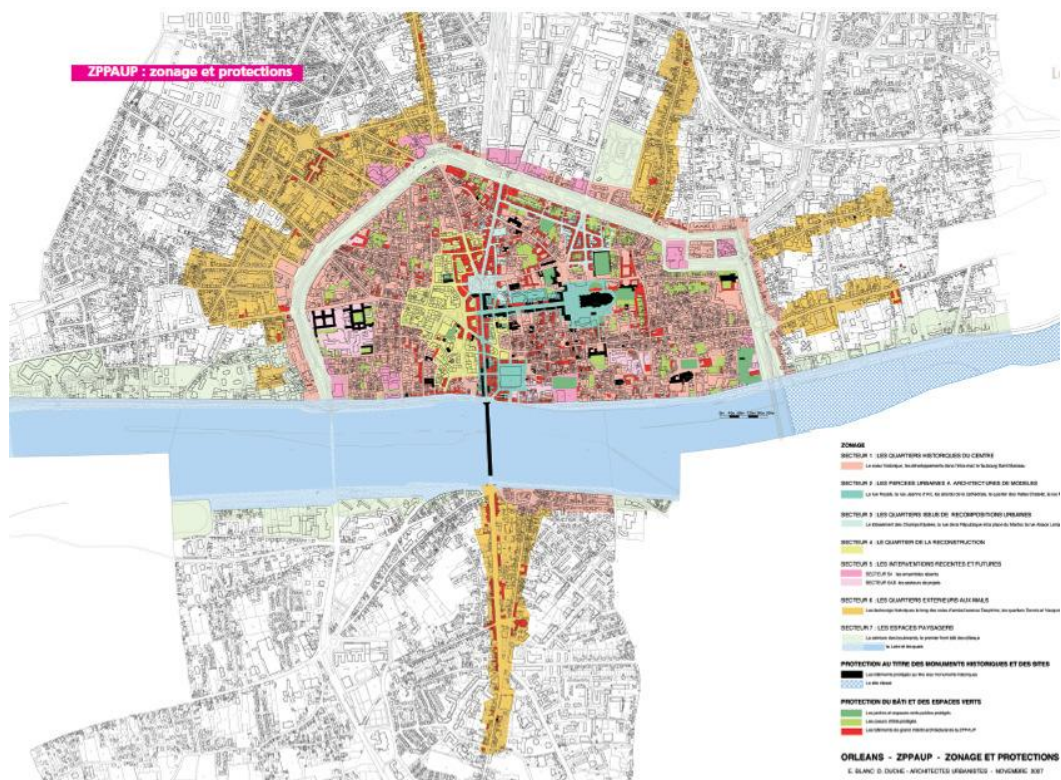
Cette stratégie concourt à l’objectif de réduire la perte de la biodiversité et de la géodiversité à l’échelle nationale, par la création de nouvelles zones réglementaires (Arrêté Préfectoral de Biotope et de Géotope, Réserve Naturelle Nationale et Régionale, Cœur de Parc National) comblant les lacunes du réseau actuel. Ainsi, les cartes ci-dessous présentent les différentes zones d’intérêt (ZNIEFF1, ZNIEFF2, site Natura 2000 habitat, etc.).





Ces zones d'intérêt sont principalement situées en bordure de Loire. L'emplacement du projet (en bleu sur la figure ci-dessus) n'est pas sur le périmètre protégé par ces zones.

Sur la ville d'Orléans, une Zone de Protection du Patrimoine Architectural, Urbain et Paysager (ZPPAUP) a été créée. Le projet ne se situe pas sur une zone protégée par cette zone (cf. figure ci-dessous).



### 2.1.3. Périmètre retenu pour l’approvisionnement énergétique

Le projet InterRives sera réalisé en trois phases. Les phases 1 et 2 seront réalisées à moyen terme (entre 2018 et 2026) et une troisième phase sera réalisée à plus long terme dans une échéance aujourd’hui inconnue.

La présente étude porte sur l’ensemble du projet InterRives mais l’analyse de faisabilité technique et économique se concentre sur la programmation prévisionnelle des phases 1 et 2, la programmation de la troisième phase étant hypothétique actuellement. Le périmètre de la phase 3 couvrira le reste du projet InterRives.

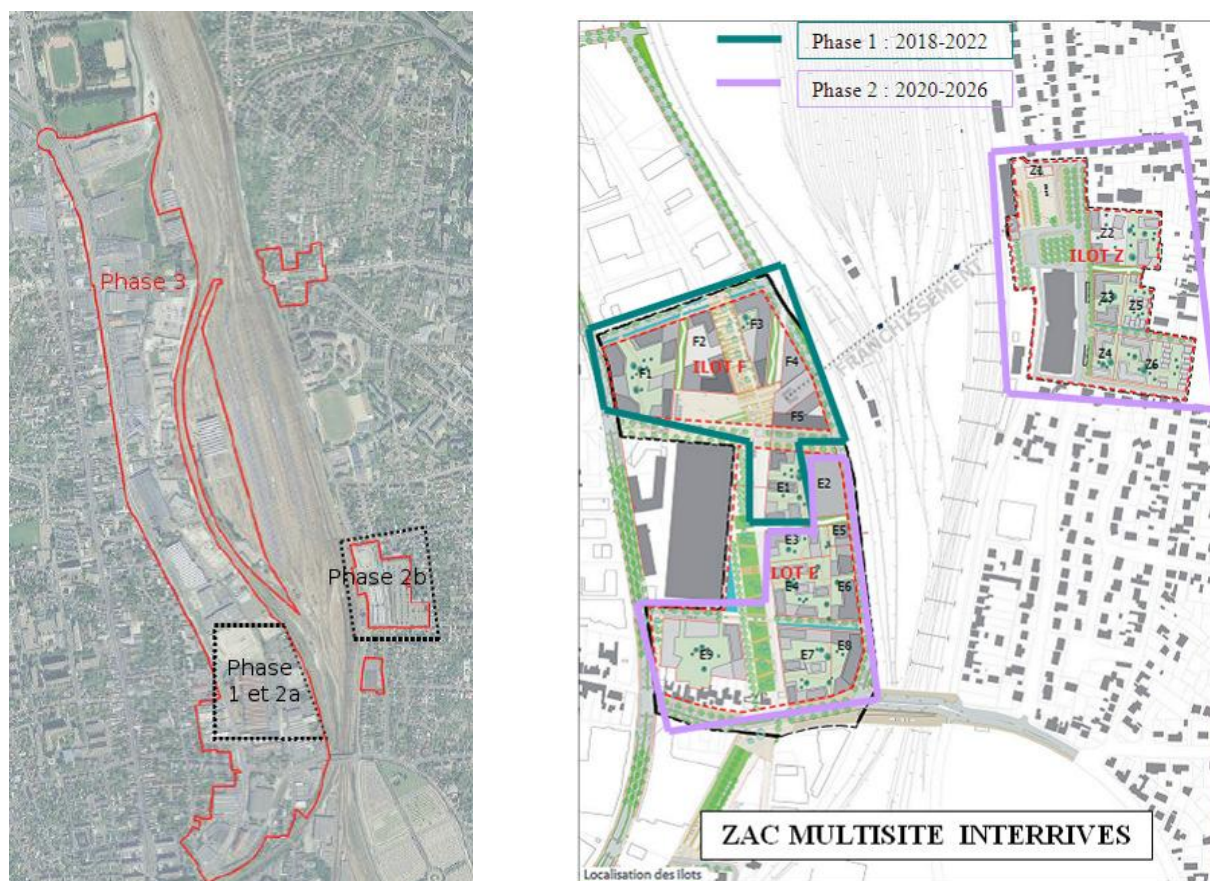


FIGURE 6: ESQUISSE DU PROJET INTERRIVES ET ZOOM SUR LA ZAC MULTISITE

La programmation prévisionnelle utilisée pour l’analyse de faisabilité technique et économique est la suivante :

Phases	Types de bâtiments	m² SDP
1	Tertiaire	35 025
	Habitat collectif	14 740
	Hôtellerie	7 662
	Commerce	3 695
2a	Tertiaire	22 570
	Habitat collectif	26 174
2b	Commerce	2 091
	Habitat collectif	16 892
3	NC	NC
<b>Total</b>		<b>128 849</b>

TABLEAU 2: PROGRAMMATION PRÉVISIONNELLE DU PROJET



#### 2.1.4. Extension de la zone d'étude

Le nouveau quartier sera implanté au sein d'un tissu urbain dense. Certaines zones d'aménagement ont été recensées autour de la zone et pourraient présenter un certain intérêt quant à la mutualisation de la production et la distribution de chaleur. Le plan ci-dessous recense les zones concernées.



FIGURE 7: ZAC À PROXIMITÉ DU PROJET INTERRIVES

Ces différents projets situés à proximité les uns des autres représentent une surface totale d'aménagement d'environ 250 ha. La ZAC « Coligny » est actuellement en fin de chantier et sera livrée prochainement. La ZAC « Portes du Loiret » est en phase de construction quant à la ZAC « Les Groues », elle est à l'étude. Les besoins énergétiques de ces différents ensembles pourraient sans doute être mutualisés afin d'optimiser la rentabilité économique de certaines solutions par un effet d'échelle.

#### 2.1.5. Contexte climatique du site

Le département du Loiret se situe au sud du bassin parisien, son climat est tempéré de type océanique dégradé se caractérisant par des hivers doux et pluvieux, et des étés frais et relativement humides.

Les données météorologiques prises en compte dans le cadre de cette étude sont celles de la station météo de Reims-Champagne.

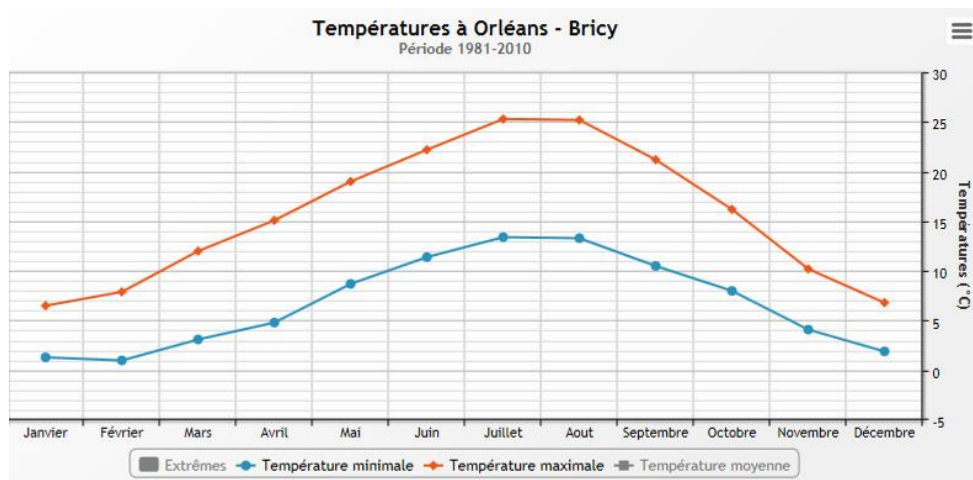


FIGURE 8: TEMPÉRATURES À ORLÉANS-BRICY



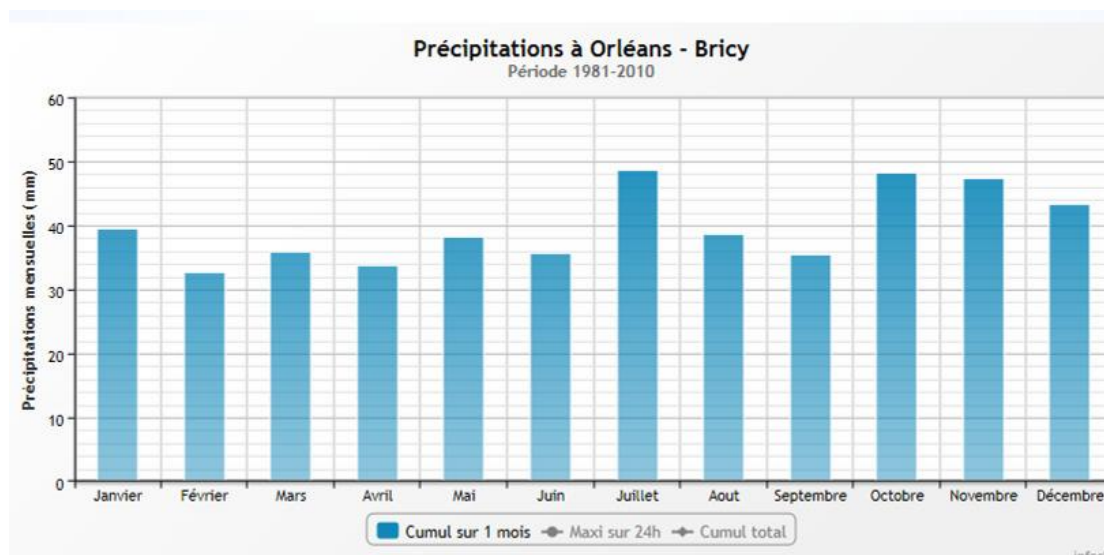


FIGURE 9: PRÉCIPITATIONS À ORLÉANS-BRICY

Ainsi, les précipitations varient entre 32 mm en février et 48 mm en juillet et octobre. Ces précipitations annuelles atteignent une hauteur de 477 mm en moyenne annuelle.

Les Degrés Jour Unifiés (DJU) permettent de réaliser des estimations de consommations d'énergie thermique en proportion de la rigueur de l'hiver. Ils sont obtenus à partir des températures moyennes quotidiennes et sont calculés sur une base de 18°C, température minimale de confort pour l'être humain.

Lorsque la température moyenne du jour est supérieure ou égale à 18°C, l'écart est compté nul. Les écarts quotidiens sont ensuite cumulés mensuellement.

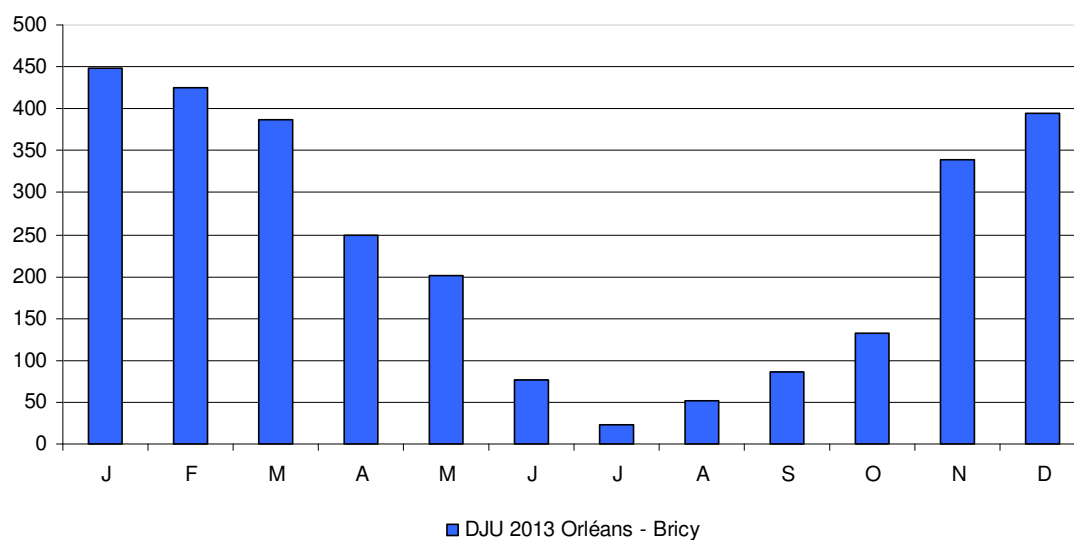


FIGURE 10: DJU

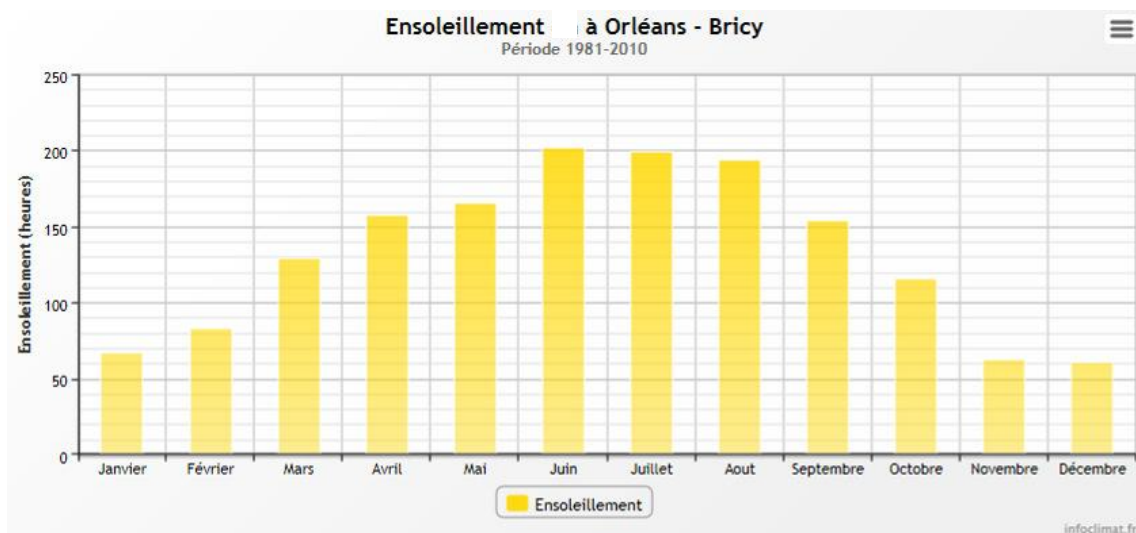


FIGURE 11: ENSOLEILLEMENT MOYEN ANNUEL

L'ensoleillement moyen annuel est d'environ 1 590 heures par an.

## 2.2. Les besoins en énergie

### 2.2.1. Description des besoins estimés

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

- **Besoins de chauffage** : chauffage des bâtiments. Il ne s'agit pas d'un calcul réglementaire. En effet, l'objectif est ici d'être le plus proche de la réalité possible. La température de consigne utilisée ici n'est donc pas celle de la RT 2012 qui est de 19 °C, mais elle est prise à 21,5 °C, ce qui correspond aux températures de consigne observées. A titre d'information, une hausse de 2,5 °C de cette température correspond à une augmentation du besoin de chauffage de 40 %.
- **Besoins d'ECS** : besoin d'eau chaude sanitaire. Le besoin d'ECS ne dépend que très peu de l'enveloppe du bâtiment. Le facteur le plus influent est en effet l'occupation et la typologie de ce bâtiment.
- **Besoins de froid** : rafraîchissement des bâtiments. Tout comme pour le chauffage, il ne s'agit pas d'un calcul réglementaire mais d'une approche empirique pour estimer au mieux les besoins de climatisation des bâtiments.
- **Besoins d'électricité** : ensemble des postes consommant de l'électricité. L'estimation de ce besoin ne se limite pas aux postes compris dans la RT (éclairage, ventilation et auxiliaires), mais inclut également les consommations d'électricité dites spécifiques, qui comprennent les besoins électriques des appareils électroménagers, des équipements multimédia ...

### 2.2.2. Bilan énergétique

Le niveau de performance thermique des bâtiments n'est pas encore définitivement établi mais le maître d'ouvrage souhaite s'orienter vers une opération « vertueuse ».

Par conséquent, le niveau de performance Effinergie + pour la phase 1 et RT2020 pour la phase 2 ont été définis. Des bâtiments à énergie positive (BEPOS) ont également été évoqués sur ce projet.



Les besoins en énergie du futur projet sont détaillés dans les tableaux suivants :

Besoins de chaleur						
Phases	Type de bâtiments	SDP (m²)	Performance énergétique	Besoins chauffage (kWh/an)	Besoins ECS (kWh/an)	Puissance chaud (kW)
1	Tertiaire	35 025	Effinergie +	809 078	77 055	485
	Habitat collectif	14 740	Effinergie +	334 657	405 350	322
	Hôtellerie	7 662	Effinergie +	176 992	294 987	166
	Commerce	3 695	Effinergie +	119 496	40 645	82
2a	Tertiaire	22 570	RT 2020	347 758	49 654	225
	Habitat collectif	26 174	RT 2020	403 080	719 785	526
2b	Commerce	2 091	RT 2020	64 403	23 001	50
	Habitat collectif	16 892	RT 2020	260 137	464 530	339
<b>Total</b>	-	<b>128 849</b>	-	<b>2 515 601</b>	<b>2 075 007</b>	<b>2 195</b>

TABLEAU 3: ESTIMATION DES BESOINS DE CHALEUR

Besoins de froid					
Phases	Type de bâtiments	SDP (m²)	Performance énergétique	Besoins froid (kWh/an)	Puissance froid (kW)
1	Tertiaire	35 025	Effinergie +	462 330	925
	Habitat collectif	14 740	Effinergie +	-	-
	Hôtellerie	7 662	Effinergie +	139 065	278
	Commerce	3 695	Effinergie +	134 128	268
2a	Tertiaire	22 570	RT 2020	310 338	621
	Habitat collectif	26 174	RT 2020	-	-
2b	Commerce	2 091	RT 2020	80 504	161
	Habitat collectif	16 892	RT 2020	-	-
<b>Total</b>	-	<b>128 849</b>	-	<b>1 126 365</b>	<b>2 253</b>

TABLEAU 4: ESTIMATION DES BESOINS DE FROID

Besoins d'électricité				
Phases	Type de bâtiments	SDP (m²)	Performance énergétique	Besoins électricité (kWh/an)
1	Tertiaire	35 025	Effinergie +	2 308 568
	Habitat collectif	14 740	Effinergie +	499 391
	Hôtellerie	7 662	Effinergie +	283 188
	Commerce	3 695	Effinergie +	221 922
2a	Tertiaire	22 570	RT 2020	1 062 596
	Habitat collectif	26 174	RT 2020	633 411
2b	Commerce	2 091	RT 2020	89 704
	Habitat collectif	16 892	RT 2020	408 786
Total	-	141 733	-	5 507 566

TABLEAU 5: ESTIMATION DES BESOINS D'ÉLECTRICITÉ



### 3. PHASE 2 : INVENTAIRE DU POTENTIEL EN ÉNERGIES RENOUVELABLES

Les opportunités techniques en énergies renouvelables envisageables pour le projet d'aménagement InterRives sont de différents types. Elles s'intègrent à l'échelle du bâtiment ou à l'échelle d'un réseau de chaleur.

#### 3.1. Réseaux de chaleur

Les réseaux de chaleur ont pour but de distribuer de la chaleur sur une zone prédéfinie via une production thermique centralisée. Les avantages sont multiples :

- Simplicité d'utilisation,
- Maîtrise des coûts énergétiques,
- Développement multi-énergétique,
- Diminution des rejets atmosphériques,
- Préservation de l'environnement sur les plans esthétiques, visuels et sonores.

##### 3.1.1. Raccordement au réseau de chaleur de la SODC

Un réseau de chaleur est situé sur la partie centre et nord de la ville d'Orléans, géré par la Société Orléanaise de Distribution de Chaleur (S.O.D.C), filiale de Cofely-ENGIE :

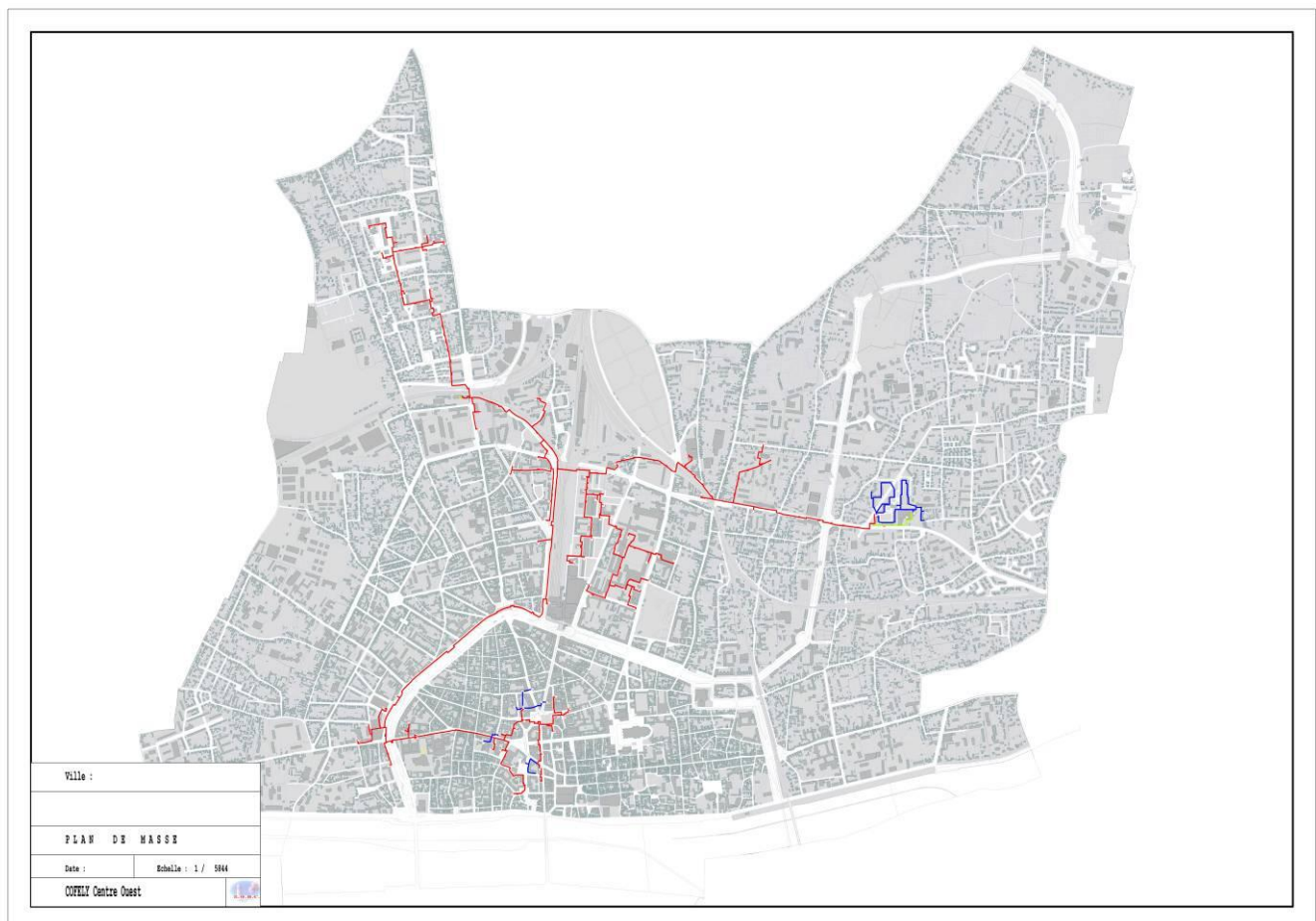


FIGURE 12: PLAN DU RÉSEAU DE CHALEUR EXISTANT SODC ET DE SA ZONE DE CONCESSION

Le réseau de chaleur passe à proximité directe de la zone prévue pour le projet, notamment de la phase 1 et une partie de la phase 2.



Légende	
<span style="color: red;">—</span>	Réseau de chaleur existant
<span style="color: red;">- - -</span>	Réseau de chaleur projeté
<span style="color: blue;">- . - .</span>	Limites administratives
	Emplacement sous-station

Contrat	DSP jusqu'en 2034
Puissance installée	64,5 MW
Température	110°C – 180°C

FIGURE 13: RÉSEAU DE CHALEUR EXISTANT DE LA SODC ET PROJET INTERRIVES

La pertinence d'un réseau de chaleur se mesure par la densité énergétique que représente le projet. Ce ratio se calcule de la manière suivante : Besoin en chaud (chauffage + ECS) / longueur du réseau de chaleur. La viabilité de cet équipement est reconnue (et donc soutenue financièrement) par l'ADEME à partir de 1,5 MWh/ml/an.

Le tableau ci-dessous reprend les différentes longueurs de réseau de chaleur par phase et les densités énergétiques qui y sont associées, à l'échelle du secteur, en partant d'une hypothèse d'une extension de réseau par l'embranchement nord :

	Besoins de chaleur (MWh/an)	Extension du réseau (ml)	Densité énergétique (MWh/ml/an)
Phase 1	2 509	960	2,6
Phase 1 + Phase 2	4 031	1 475	2,7
Phase 1 + Phase 2 +Phase 2 Est	4 843	2 990	1,6

TABEAU 6: POTENTIEL D'EXTENSION DU RÉSEAU SODC



La chaleur est produite par une centrale de cogénération fonctionnant au gaz et une centrale de cogénération biomasse située à proximité du projet. Les caractéristiques de la centrale biomasse sont les suivantes :

Mise en service	Janvier 2015
Puissance	37 MW (12 MW élec, 25MW therm)
Taux d'EnR (bois)	81% (90% pour 2016)
Consommation annuelle	110 000 tonnes de bois
Provenance du combustible	Rayon de 150 km
Émissions C02	Réduction de 47 000 t/an
Prix chaleur	R1 : 50 €/MWh R2 : 43 €/KW/an

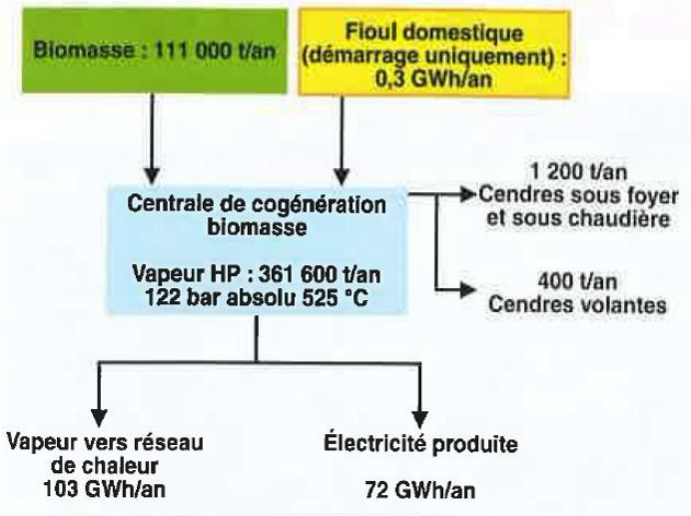


FIGURE 14: BILAN SIMPLIFIÉ EN ÉNERGIE ET EN MATIÈRES PREMIÈRES DE LA CENTRALE BIOMASSE SODC

TABEAU 7: CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DE LA CHAUFFERIE BIOMASSE SODC

A ces consommations peuvent potentiellement s'ajouter la consommation de l'usine Imperial Tobacco si elle se raccorde au réseau de chaleur.

Actuellement, la compétence réseau est détenue par la ville d'Orléans et de Fleury-les-Aubrais. Seul le service qui est en charge du réseau de chauffage pour la ville d'Orléans est mutualisé avec la Communauté d'Agglomération Val de Loire. À l'horizon de la création d'une possible Communauté Urbaine, le réseau de chaleur deviendra une compétence intercommunale, mais les DSP seront transférées dans leur état actuel.

L'extension du réseau de chaleur S.O.D.C est une alternative très positive pour l'alimentation en énergie du projet InterRives. En effet, la chaleur de ce réseau est produite par cogénération à partir de la combustion de biomasse (81 % biomasse + 19 % gaz).

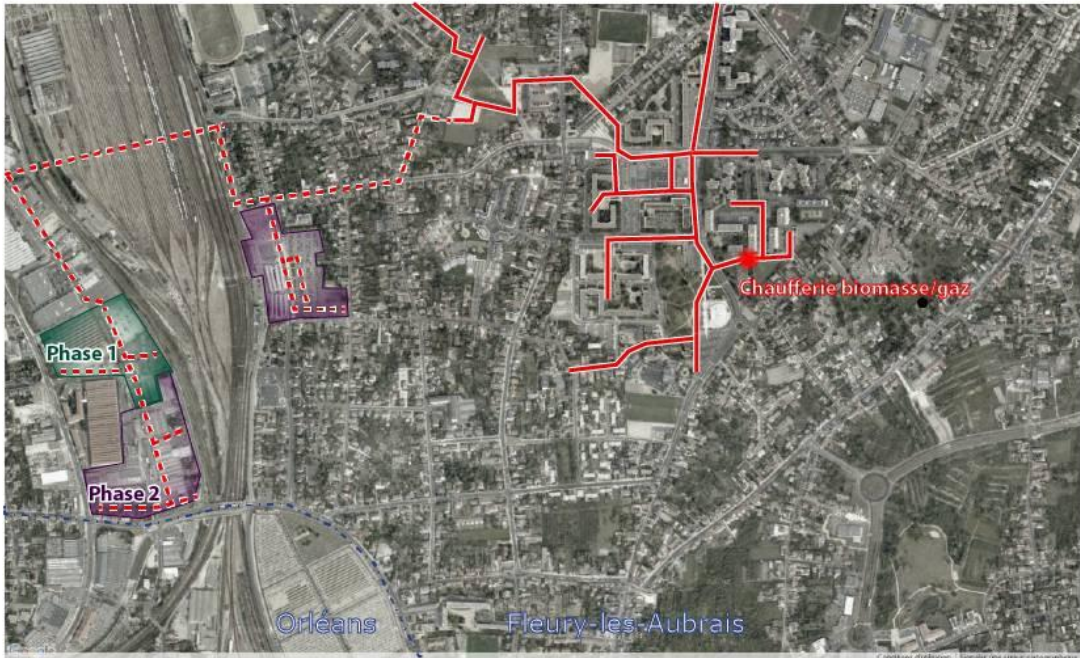
Ce réseau de chaleur constitue donc une source d'énergie renouvelable très performante pour la production de chaleur destinée au chauffage et à la production d'ECS.

Différents périmètres d'extension peuvent à ce jour être envisagés.

Toutefois, le périmètre de la DSP actuelle du réseau de chaleur de la SODC ne couvre pas la ville de Fleury-les-Aubrais où se situent les phases 1 et 2a du projet InterRives.

### 3.1.2. Raccordement au réseau de chaleur de la SOFLEC

Le projet InterRives est situé en quasi-totalité sur le périmètre de la ville de Fleury-les-Aubrais. C'est la société Dalkia-EDF qui possède l'exclusivité d'exploitation du réseau de chaleur sur cette ville (DSP à échéance 2025) :



Contrat	DSP jusqu'en 2025
Puissance installée	25,5 MW
Température	95°C

FIGURE 15: RÉSEAU DE CHALEUR EXISTANT DE DALKIA ET PROJET INTERRIVES

Le tableau ci-dessous reprend les différentes longueurs de réseau de chaleur par phase et les densités énergétiques qui y sont associées, à l'échelle du secteur, en partant de l'hypothèse d'une extension de réseau par l'embranchement nord :

	Besoins de chaleur (MWh/an)	Extension du réseau (ml)	Densité énergétique (MWh/ml/an)
Phase 2 Est	812	1 024	0,8
Phase 2 Est + Phase 1	3 323	2 504	1,3
Phase 2 Est + Phase 1 + Phase 2	4 843	4 008	1,2

TABEAU 8 : POTENTIEL D'EXTENSION DU RÉSEAU SOFLEC



La chaleur est produite par une centrale de cogénération fonctionnant au gaz et au combustible bois :

Mise en service	Octobre 2015
Puissance	30 MW (25,7 gaz et 4,3 bois)
Taux d'EnR (bois)	55%
Consommation annuelle	6 500 t/an
Provenance du combustible	Rayon de 150 km
Émissions CO2	Réduction de 3 800 t/an
Prix chaleur	R1: 42,9€/MWh R2: 39,68 €/KW/an

TABEAU 9: CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DE LA CHAUFFERIE BOIS SOFLEC

Toutefois, si une autre chaudière bois n'est pas prévue, le raccord à d'autres bâtiments risque de faire baisser le taux d'EnR qui pourrait passer en dessous des 50% (seuil d'éligibilité du Fonds Chaleur pour l'extension de réseau et de la TVA à 5,5% pour l'utilisateur).

### 3.1.3. Synthèse des opportunités de l'extension des réseaux SODC et/ou SOFLEC

Les avantages et les inconvénients de l'extension des réseaux de chaleur de la SODC et de la SOFLEC pour desservir le projet InterRives sont les suivants :

	Avantages	Inconvénients
SODC (COFELY-GDF SUEZ)	Réserve de puissance chaufferie importante Densités énergétiques fortes Taux d'EnR fort (80% voire 90%) Proximité de la phase 1 et 2 du projet	Le contrat de DSP ne couvre pas le projet InterRives Coût de chaleur pour l'utilisateur plus cher
SOFLEC (DALKIA-EDF)	Exclusivité du réseau de chaleur urbain de Fleury-les-Aubrais Proximité d'une partie de la phase 2 du projet Coût de chaleur pour l'utilisateur moins cher	Puissance chaufferie faible Taux d'EnR faible (55%) Risque de baisse du taux d'EnR

TABEAU 10 : ANALYSE DES AVANTAGES ET DES INCONVÉNIENTS DE L'EXTENSION DU RÉSEAU DE CHALEUR

La SODC possède une grande réserve de puissance qui est suffisante pour couvrir le futur projet en énergies renouvelables. De plus, le taux d'EnR de la chaufferie bois est bien plus élevé que celle de la SOFLEC et par conséquent, les réductions d'émissions de CO2 sont plus importantes.

Toutefois, le coût de la chaleur fournie par la SODC pour l'utilisateur est plus cher que celui de la SOFLEC. De plus, la DSP de la SODC ne lui permet pas actuellement de s'étendre jusqu'au projet InterRives qui est compris exclusivement dans le périmètre de celle de la SOFLEC.

## 3.2. La production de froid à partir d'un réseau de chaleur

### 3.2.1. Machines à Absorption

En été, la production de chaleur d'un réseau de chaleur n'est valorisée que pour la production d'ECS et d'électricité via le système de cogénération. Hors, l'été est aussi une période de forte consommation de froid pour climatiser les bâtiments. Il est possible de produire du froid à partir d'une source de chaleur grâce notamment aux machines à absorption. Ces machines utilisent un couple absorbant/fluide frigorigène par exemple composé de Bromure de lithium et d'eau.

Il existe deux types de technologies de machines à absorption :

- Machines à simple effet fonctionnant avec de l'eau dont la température doit être comprise entre 70°C et 90°C. Le COP (COefficient de Performance) de ces machines est d'environ 70 % ;
- Machines à double effet fonctionnant avec de l'eau surchauffée dont la température minimale doit être de 150°C. Le COP (COefficient de Performance) de ces machines est d'environ 110 % ;

La production de chaleur du réseau SODC se faisant à 180°C, ces deux solutions techniques sont envisageables.

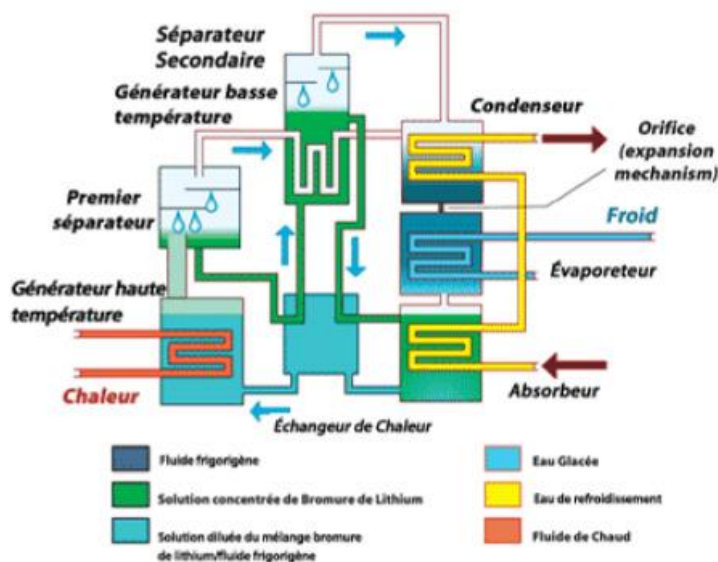


FIGURE 16: SCHÉMA DE PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT D'UNE MACHINE À ABSORPTION DOUBLE EFFET

L'avantage de ces solutions vis-à-vis des machines à compression (Pompes à chaleur) traditionnelles est qu'elles permettent, dans le cadre de ce projet, d'utiliser une énergie renouvelable disponible localement et non pleinement valorisée en été.

Plusieurs réalisations de ce type de systèmes (communément appelés trigénération) existent en France notamment l'aéroport de Bordeaux –Mérignac (machine simple effet de 0,5 MW), la ville de Montpellier (machine simple effet de 11,1 MW), le CNES de Toulouse (machine double effet de 2,6 MW).

La trigénération installée au CNES de Toulouse en 2001 est la première installation d'Europe avec une machine à absorption double effet. Cette opération exemplaire menée avec le soutien de l'ADEME notamment est une réussite. Le surcoût lié à la production de froid est de l'ordre de 25 % par rapport à une installation de cogénération. Les économies dégagées permettent un retour sur investissement de moins de 7 ans, et cela hors déduction des subventions.

Dans le cadre du projet InterRives, la demande en froid est majoritairement située sur la phase 1 du projet. Si la solution de production de chaud et de froid retenue était la connexion au réseau de chaleur S.O.D.C, alors la production de froid à partir de la chaleur du réseau pourrait être mise en place à l'échelle de la

partie centrale. Ainsi, sur ces îlots, le réseau de chaleur alimenterait en été le réseau d'eau glacée en énergie et assurerait la production de froid des bâtiments via des machines à absorption.

Cette solution permettrait d'augmenter fortement la densité énergétique du réseau de chaleur et donc sa pertinence en l'utilisant à la fois pour le chauffage et la climatisation.

Plusieurs facteurs rendent cette solution intéressante :

- Ressource en eau surchauffée disponible (et inutilisée) à partir de la centrale de cogénération biomasse S.O.D.C ;
- Une solution compétitive vis-à-vis d'une solution « classique » à compression ;
- Une solution technique très innovante et efficace qui s'intègre dans le cadre de l'agenda 21 de la ville d'Orléans ainsi que dans son souhait d'être à la pointe dans le domaine des économies d'énergies.

Cette solution innovante est tout à fait adaptée dans le cadre de ce projet.

Les perspectives de réduction de consommation d'énergie primaire et de réduction des émissions de gaz à effet de serre tout en utilisant une énergie non valorisée sont très prometteuses.

Il est nécessaire de réaliser une étude approfondie afin de valider la faisabilité de cette solution et de quantifier précisément les économies à en attendre.

### 3.3. La géothermie

Il existe plusieurs types de géothermie, les différences sont principalement dues à la profondeur de la ressource, et donc à la température du gisement. Ces types de géothermie sont représentées sur le graphique suivant.

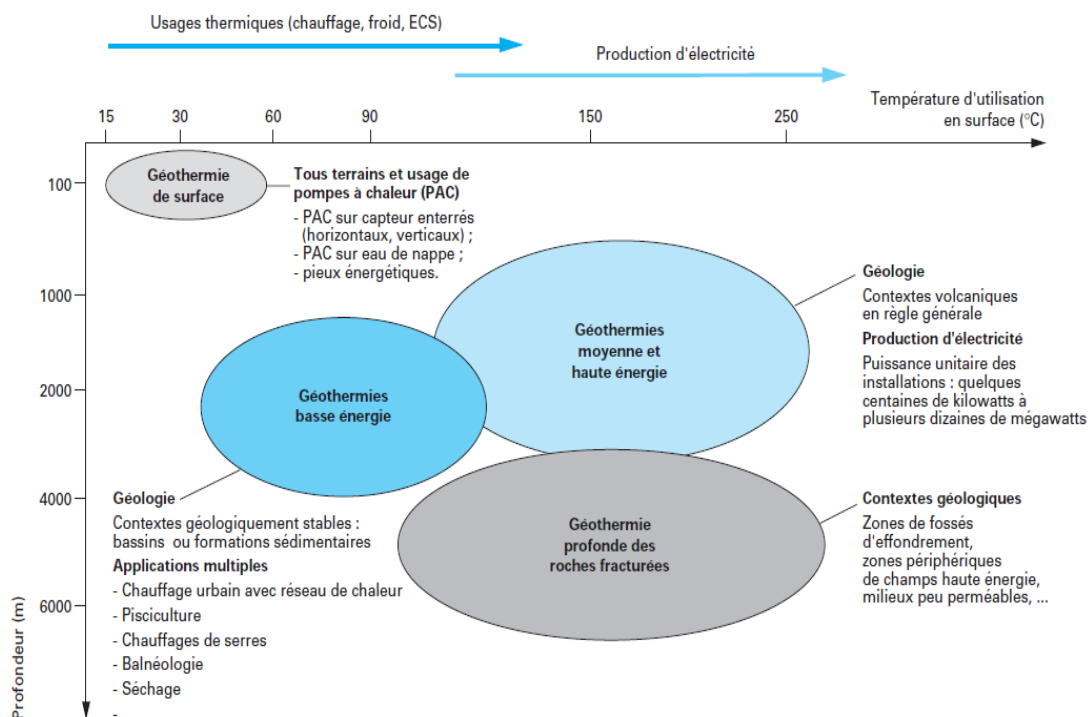


FIGURE 17: LES SOLUTIONS GÉOTHERMIQUES



### 3.3.1. Géothermie basse énergie avec l'aquifère du Dogger

La géothermie basse énergie repose sur l'utilisation directe de la chaleur de l'eau chaude contenue dans les aquifères (couches géologiques poreuses imprégnées d'eau) profonds. Le principe d'utilisation de cette filière géothermique est la réalisation d'un doublet de forages composé d'un puits producteur et d'un puits injecteur, et le passage d'un fluide par un échangeur de chaleur pour en récupérer les calories avant de le réinjecter dans la même formation géologique.

Le potentiel géothermique profond au sein du projet InterRives est favorable. En effet, les connaissances du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) permettent d'identifier l'équivalent dans le département du Loiret de la formation dite du Dogger (appartenant au Système périodique du Jurassique moyen), qui se trouve sous la Région Centre à environ 1100 m de profondeur :

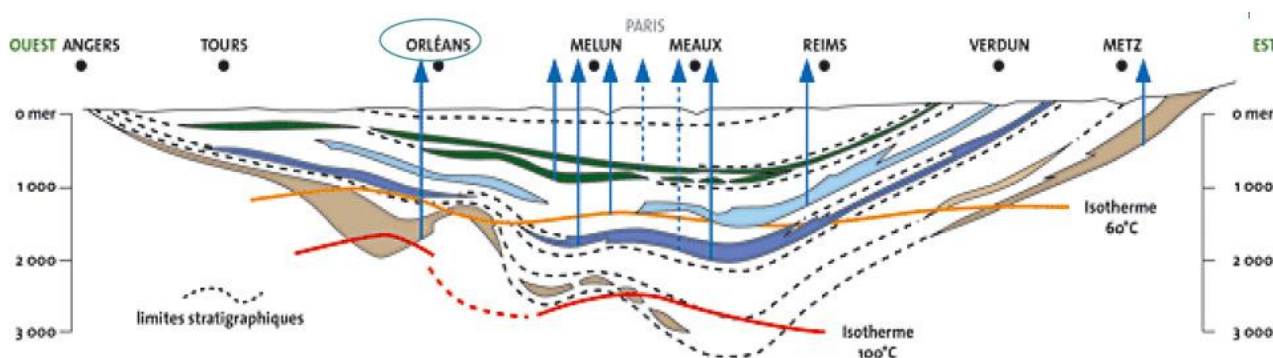


FIGURE 18: COUCHES GÉOLOGIQUES D'ORLÉANS

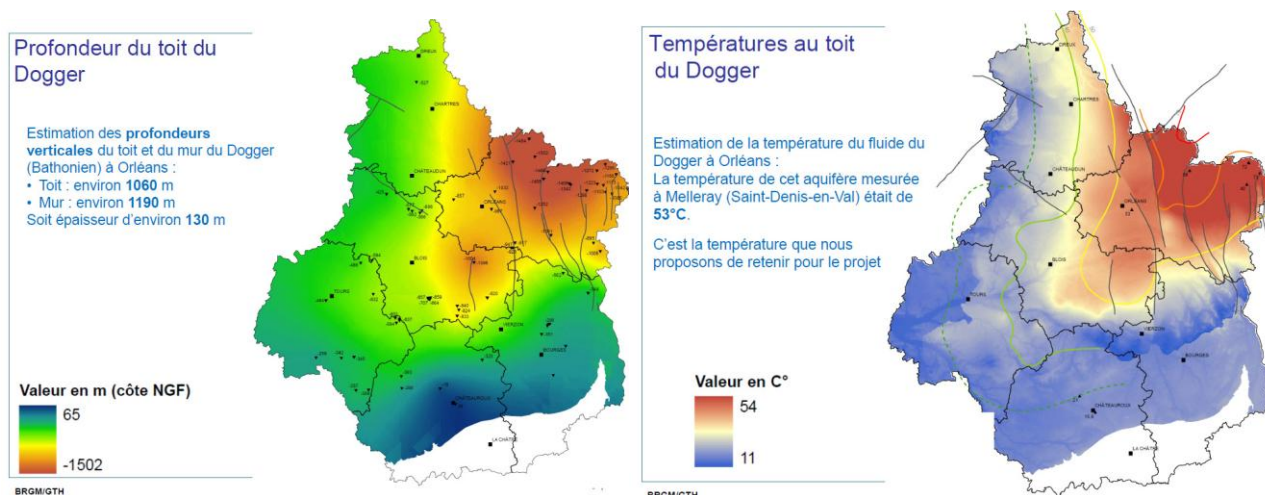


FIGURE 19: FORMATION DU DOGGER EN RÉGION CENTRE

La formation dite du « Dogger » est très exploitée en région Ile-de-France pour la chauffage et la production d'ECS de plus de 160 000 équivalents logements associés à des réseaux de chaleur urbains. Cette formation se trouve sous l'Ile-de-France à environ 1700m de profondeur et permet de produire des fluides à température comprise entre 60 et 80°C.

Les forages pétroliers à proximité d'Orléans et du projet ont permis d'établir que cette formation se trouve à 1100m de profondeur, ce qui limite les coûts en forage par rapport au contexte francilien.

Dans le périmètre du projet InterRives, il est ainsi possible de produire un fluide à 53°C environ et à un débit estimé à 75 m<sup>3</sup>/h en mode d'exploitation par pompage immergé. Par conséquent, si l'on extrait un  $\Delta T$  de 30°C (différence de température entre la production et l'injection), il serait possible de produire environ 2,6 MW de puissance thermique (chauffage + ECS) à distribuer sur le réseau. Cette puissance pourrait

donc fournir l'énergie calorifique nécessaire au projet. Bien que les transmissivités (perméabilité x épaisseur utile, paramètre fondamental pour déterminer la productivité d'un aquifère) soient globalement faibles, elles sont plus élevées à Orléans et dans la zone du projet (1 Dm) qu'à ses alentours (0,5 Dm).

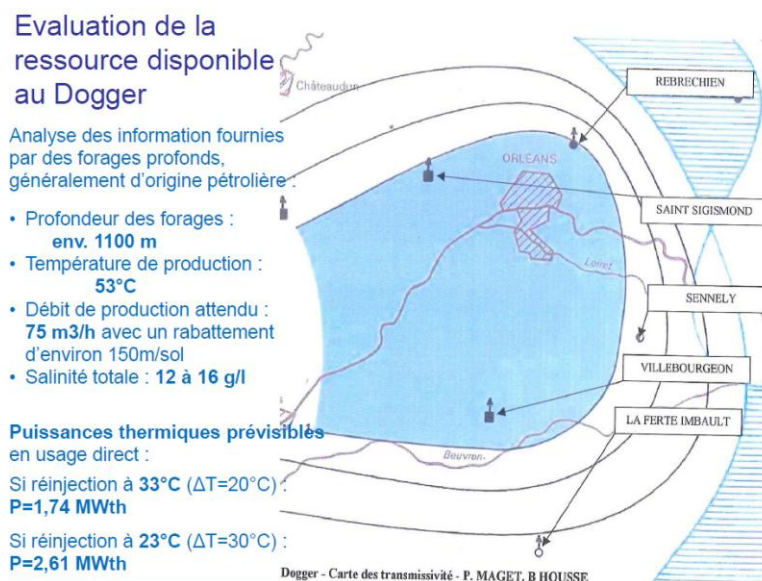


FIGURE 20: EVALUATION DU POTENTIEL DE GEOTHERMIE AU SEIN DU PROJET

Ce type d'opération n'a encore jamais été réalisé en Région Centre (la majorité de ces opérations sont effectuées en Ile-de-France) qui détient pourtant un potentiel important en géothermie basse énergie. L'enjeu d'exemplarité et de démonstrateur d'une telle opération, si elle est amenée à se concrétiser, est donc particulièrement important et intéressant.

Toutefois, le coût d'un tel investissement est très important : de 4 à 4,5 millions d'euros pour un doublet garantissant un débit moyen de 75 m<sup>3</sup>/h (le Fonds Chaleur ADEME subventionnant à hauteur de 40% voire 50% ce type d'installation).

La couverture du « risque géologique » est un enjeu majeur pour le développement de la géothermie. Les étapes en amont de l'exploration et de l'accès à la ressource ont des coûts élevés, sans garantie de retrouver une ressource exploitable. Pour baisser cette barrière significative à l'entrée pour de nouveaux investisseurs, un schéma de couverture du risque géologique par mutualisation a été mis en place en France dans les années 80. Le « fonds de garantie géothermie », géré par la SAF-Environnement, sur la base d'une convention avec l'ADEME, permet d'assurer les investisseurs contre le risque géologique moyennant une cotisation. Il est destiné à l'élaboration d'installations géothermiques à fort investissement et avec une réussite liée aux caractéristiques de la ressource géothermale exploitée.

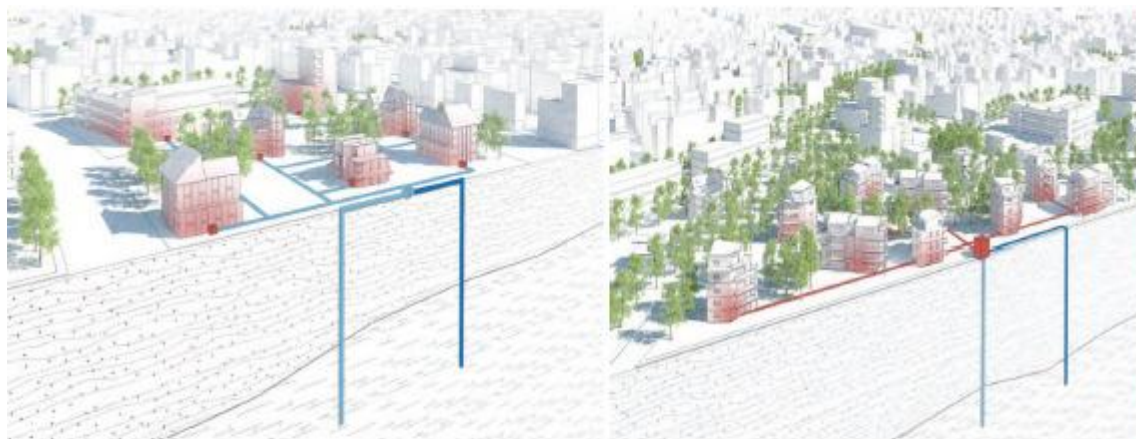
Dans le cadre du projet InterRives, pour diminuer le risque financier lié à la Maîtrise d'Ouvrage, un dispositif de garantie pour le forage en aquifère profond peut être mis en place. Si l'opération échoue, le coût du forage est alors supporté à 10% par la Maîtrise d'Ouvrage et à 90% par le BRGM et sa filiale d'exploitation. Ce dispositif est utilisé notamment par l'Ile-de-France pour tous ses forages.

La géothermie basse énergie permet d'utiliser une ressource inexploitée tout en résolvant le problème du transport de combustible, que connaît par exemple la biomasse. Elle peut en outre donner une image d'exemplarité au projet et à la Communauté d'Agglomération en étant la première opération de géothermie basse énergie dans la Région Centre.

Toutefois, les coûts d'investissement sont particulièrement importants et nécessitent donc une analyse approfondie des Fonds Chaleurs disponibles pour ce type d'opération.

### 3.3.2. Géothermie très basse énergie sur aquifère superficiel

La géothermie issue de nappes moins profondes est également utilisée en France. L'exploitation de ces nappes pour du chauffage, contrairement à la géothermie basse énergie, passe par l'utilisation de pompes à chaleur pour relever la température de l'eau. Ce système est réversible et permet de produire du chaud et du froid. Il convient donc particulièrement bien à des bâtiments de type tertiaires (activités, commerces, etc.).



#### Avantage des deux solutions :

- mutualisation des coûts d'investissement et d'exploitation de pompage ( $\approx 5\%$  de l'énergie géothermique échangée) pour le collectif/tertiaire ou les lotissements viabilisés
- Compatibilité multi-énergies renouvelables

#### Avantage prévu aux PACg réparties :

- Production de rafraîchissement en usage direct
- Limitation des pertes thermiques (réseau très basse température)



FIGURE 21 : SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA GÉOTHERMIE TRÈS BASSE ÉNERGIE

Il existe deux nappes aquifères au niveau du site :

- La nappe de sables et argiles de Sologne qui constitue un aquifère à faible potentiel ;
- La nappe de calcaire de Beauce qui constitue un aquifère important et pérenne au niveau du site.



FIGURE 22: DONNÉES GÉOTHERMIQUES SUPERFICIELLES DU PROJET INTERRIVES

#### Précautions – Les ZRE (Zone de Répartition des Eaux) et les préconisations du SDAGE concernant la géothermie très basse énergie

Les Nappes de Beauce et du Cénomaniens sont classées « zone de répartition des eaux » ou ZRE.

Une zone de répartition des eaux est caractérisée par une insuffisance quantitative chronique des ressources en eau par rapport aux besoins.

L'inscription d'une ressource (bassin hydrographique ou système aquifère) en ZRE constitue le moyen pour l'État d'assurer une gestion plus fine des demandes de prélèvements dans cette ressource, grâce à un



abaissement des seuils de déclaration et d'autorisation de prélèvements.

Comme l'indique l'article 5 du Règlement du SAGE (Schémas d'aménagement et de gestion des eaux) découlant lui-même du SDAGE (Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux) Loire-Bretagne, les prélèvements en nappe à usage géothermique sont susceptibles d'avoir des impacts cumulés significatifs sur la quantité d'eau. En conséquence, tous les nouveaux projets faisant appel à la géothermie (collectivités, industriels, particuliers...), basés sur des prélèvements en nappe, doivent comprendre un doublet de forages avec réinjection de l'eau dans le même horizon aquifère que celui dans lequel est effectué le prélèvement.

La géothermie est a priori compatible avec la ZRE car le même volume et la même catégorie d'eau sont pompés puis rejetés dans les nappes. Néanmoins, pour ne pas provoquer de conflit d'usage entre le captage d'eau à des fins sanitaires et la production d'énergie via la géothermie, un dossier de Loi sur l'eau ainsi qu'une étude in situ devront être réalisés lors de la création de l'installation.

---

La nappe de calcaire de Beauce présente un potentiel intéressant pour une exploitation géothermique.

Le débit de la nappe permet, sous réserve des résultats de forage du site, d'envisager le recours à son exploitation pour la production de chaleur et de froid.

Les caractéristiques de la nappe permettent d'estimer la puissance disponible à environ 435 kWch en chauffage et 175 kWfr en free-cooling (débit moyen de référence 50 m<sup>3</sup>/h).

Enfin, la faible profondeur d'accès permettra un investissement relativement restreint.

*À noter cependant la classification de la Nappe de Beauce en Zone de Répartition des Eaux, impliquant certaines contraintes administratives quant à la mise en place d'une telle solution.*

---

### 3.3.3. Le champ de sondes

La mise en place d'une PAC sur champs de sondes pourrait également être une solution envisageable.

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

Une profondeur de 100 m est suffisante pour s'affranchir des variations de température journalières et saisonnières où règne une température constante de 14 °C. Une telle sonde correspond à une puissance géothermique de l'ordre de 5 kW. Ces systèmes sont donc généralement destinés à l'alimentation d'un ou plusieurs bâtiments, mais en aucun cas à celle d'un réseau de chaleur.

Pour éviter un investissement et un nombre de sondes trop importants, on associe généralement ce système à une énergie d'appoint.

Le recours à cette technologie constitue donc davantage une alternative de production énergétique qu'une source principale de production.



FIGURE 23: ILLUSTRATION D'UN CHAMP DE SONDE SOUS UN BÂTIMENT

---

Les sondes géothermiques ne peuvent être utilisées que comme solution d'appoint. Elles peuvent être considérées pour compléter la production grâce à une autre source d'énergie renouvelable et ainsi participer à la diversification du mix énergétique au sein du projet d'aménagement du site.

---

## 3.4. Les énergies de récupération

### 3.4.1. La récupération de chaleur sur eaux grises

L'eau chaude sanitaire constitue un des usages les plus consommateurs dans les logements neufs. Hors, la grande majorité de l'énergie produite pour chauffer l'eau est rejetée. La récupération de chaleur sur eaux grises permet ainsi de récupérer une partie de cette chaleur fatale.

Une technologie existe pour les bâtiments collectifs :

- La technologie « Power-Pipe » permettant par exemple de raccorder la plomberie de quatre appartements ou condominiums à un seul système qui récupère la chaleur de l'eau chaude issue des douches pour préchauffer simultanément l'eau du réseau. Technologie adaptée pour les bâtiments collectifs de un ou plusieurs étages.

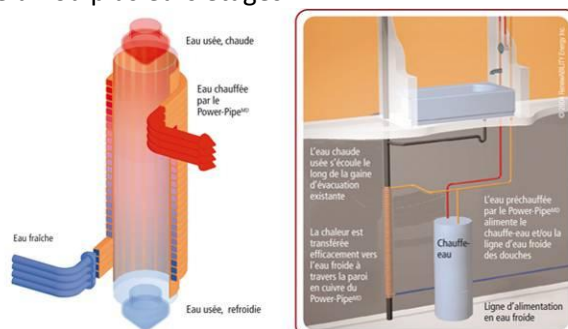


FIGURE 24: PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR EAUX GRISSES (VERTICALE)

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

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

La technologie « Power-pipe » s'adapte aux logements collectifs présents sur le projet « Dessaux – Les Aubrais ».

Leurs mises en place au sein des habitations pourraient générer une économie non négligeable sur les besoins en ECS. Néanmoins, cette solution ferait baisser la densité énergétique des bâtiments reliés au réseau de chaleur.

### 3.4.2. Récupération de chaleur sur eaux usées

Lors de leur évacuation, les eaux usées ont une température moyenne comprise entre 10 °C et 20 °C (selon la région considérée et les saisons).

Issues de nos cuisines, salles de bains, lave-linge et lave-vaisselle, les calories de ces eaux usées peuvent être utilisées pour le chauffage ou le refroidissement des bâtiments.

Fonctionnant sur le même principe qu'une VMC double flux pour l'air, un échangeur thermique permet de récupérer les calories dans les canalisations d'évacuation et de les transférer aux bâtiments via une pompe à chaleur.

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





## 3.5. L'opportunité de développement de la biomasse

### 3.5.1. Le bois énergie

Une chaudière biomasse est alimentée par des combustibles solides provenant de la filière bois. Cette technologie impose l'implantation d'un lieu de stockage.

A noter aussi, que la combustion du bois nécessite le dépoussiérage des fumées avant leur rejet à l'air libre. Outre l'aspect environnemental, la valorisation énergétique de la biomasse présente également des intérêts économiques et sociaux qu'il est intéressant de considérer.

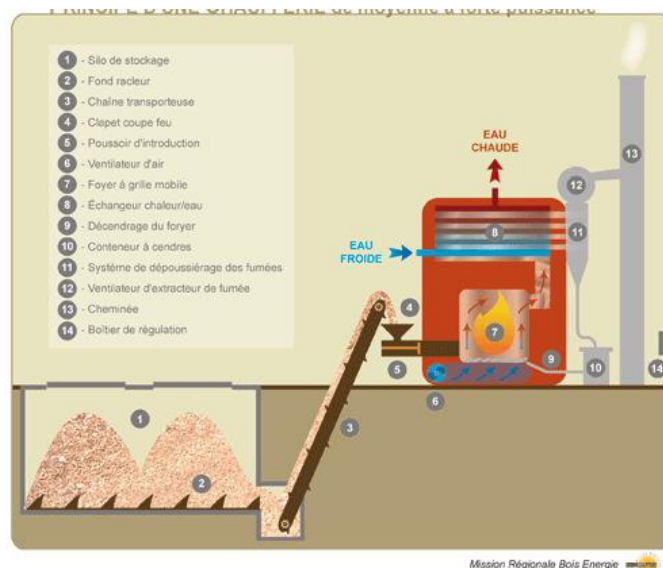


FIGURE 27: PRINCIPE D'UNE CHAUFFERIE BOIS

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

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

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

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

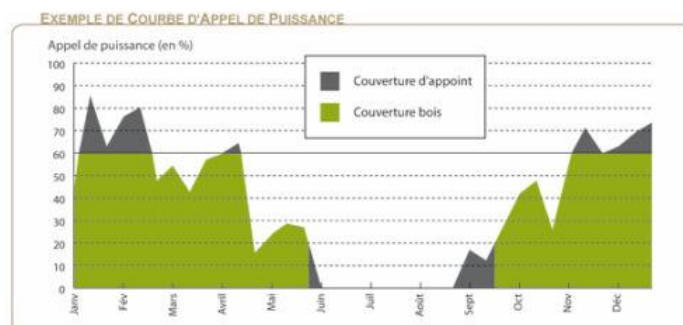


FIGURE 28: DIMENSIONNEMENT DE LA PUISSANCE D'UNE CHAUFFERIE BOIS

La récolte officielle en région Centre en 2009 s'est élevée à 1,31 million de m<sup>3</sup>, répartis pour 610 000 m<sup>3</sup> en bois d'œuvre, 468 000 m<sup>3</sup> en bois d'industrie et 233 000 m<sup>3</sup> en bois énergie.

Cette récolte doit, en réalité, être majorée de 1,3 million de m<sup>3</sup> de bois de chauffage commercialisé hors statistiques (travail dissimulé, autoconsommation...). Au total les prélèvements avoisinent 2,6 millions de m<sup>3</sup>, soit 45 % de l'accroissement naturel forestier, chiffré par l'IFN à plus de 6 millions de m<sup>3</sup>.

Deux études nationales, réalisées en 2009 (MAAP-Cemagref et Ademe), évaluent les disponibilités supplémentaires de bois en France et dans chaque région.

En région Centre, les volumes estimés sont les suivants (en négligeant les menus bois de diamètre inférieur à 7 cm) :

- Bois d'œuvre : 1 060 000 m<sup>3</sup> /an (MAAP-Cemagref),
- Bois d'industrie + Bois énergie : 2 200 000 m<sup>3</sup> /an (Ademe).

Ces chiffres ne prennent pas en compte les réductions de prix importants sur les volumes susceptibles d'être effectivement mis en vente (état de la voirie utilisable, motivation et réactivité des propriétaires privés...).

Une réflexion menée en 2009 par la DRAAF (Direction régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt) et les professionnels du Centre a conduit à chiffrer raisonnablement à 800 000 m<sup>3</sup>/an le volume supplémentaire de bois susceptible d'être effectivement mobilisé pour la région à l'échéance 2020 (220 000 m<sup>3</sup> de bois d'œuvre et 580 000 m<sup>3</sup> de bois d'industrie et énergie).

Ainsi, au global, pour le bois énergie, la production de la région Centre est de l'ordre de 430 000 m<sup>3</sup>/an. Les statistiques de l'Inventaire Forestier National (IFN) permettent de dire qu'environ 20 % des ressources en bois de la région se trouve dans le département du Cher, ce qui correspond à une production pour le bois énergie d'environ 85 000 m<sup>3</sup>/an (soit entre 50 et 70 GWh/an).

	Public	Privé	Total
<i>Territoire</i>	<i>Mm<sup>3</sup></i>	<i>Mm<sup>3</sup></i>	<i>Mm<sup>3</sup></i>
Cher	4 ± 1	26 ± 3	30 ± 3
Eure-et-Loir	2 ± 1	11 ± 2	13 ± 2
Indre	2 ± 1	18 ± 3	20 ± 3
Indre-et-Loire	3 ± 1	24 ± 3	27 ± 3
Loir-et-Cher	3 ± 1	34 ± 3	36 ± 3
Loiret	6 ± 1	22 ± 3	28 ± 3
Centre	20 ± 3	135 ± 7	155 ± 7

FIGURE 29: VOLUME DE BOIS SUR PIED EN FORÊT DE PRODUCTION INVENTORIÉE PAR CATÉGORIE DE PROPRIÉTÉ

Cette solution est déjà mise en œuvre au niveau de la ville d'Orléans pour alimenter notamment les réseaux de chaleur Nord et Sud (situé au Sud de la Ville et donc trop éloigné pour être étudié dans la présente étude). Les ressources en bois sont disponibles dans la région. L'approvisionnement des deux chaufferies (200 000 T/an) est réalisé dans un rayon de 150 km autour d'Orléans.

Plusieurs facteurs rendent cette solution intéressante :

- Stabilité des prix du combustible dans les années à venir ;
- Proximité avec des ressources forestières ;
- Présence à proximité de revendeurs de combustibles bois (plaquettes forestières notamment).

Deux chaufferies biomasse sont déjà présentes à proximité du projet InterRives. L'extension des réseaux de chaleur qui seraient raccordés à ces deux chaufferies paraît la solution la plus adaptée.

### 3.5.2. La valorisation par cogénération

Le potentiel local de la cogénération est lié au potentiel local de la source d'énergie qui sera utilisée. Une unité de cogénération est notamment envisageable dans le cas de la mise en place d'une chaudière à base de Bois Energie.

Une installation de cogénération associée à une chaudière biomasse d'une puissance de 1 MW représente un surinvestissement de l'ordre de 1,5 M€. Au vu des tarifs d'achat de l'électricité produite, le temps de retour sur investissement est généralement supérieur à celui d'une chaufferie biomasse « simple ».

Néanmoins, ce type d'installation de production énergétique présente le net avantage de couvrir à la fois des besoins thermiques et électriques. Les besoins électriques représentant un poste majeur de demande énergétique, l'intérêt de la solution de cogénération est donc fort, notamment en raison de la demande en électricité de certaines typologies de bâtiments type surface d'activités.

---

Dans le cas d'un réseau de chaleur biomasse, la cogénération pourrait être pertinente au vu des besoins électriques du projet.

Il est à noter que la centrale biomasse du réseau de chaleur S.O.D.C ainsi que celle du S.O.F.L.E.C produit aujourd'hui de l'électricité par cogénération

---

## 3.6. L'énergie solaire

### 3.6.1. Le solaire thermique

Les capteurs solaires thermiques permettent de couvrir 90 % à 95 % des besoins énergétiques liés à la production d'ECS durant la période estivale. Ce pourcentage s'avère en revanche nettement moins élevé durant l'hiver avec une production de l'ordre de 15 % à 20 %. Les besoins en ECS des logements étant relativement importants, il est particulièrement opportun d'installer de tels systèmes sur les toitures de ce type de bâtiments.

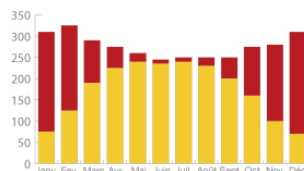


FIGURE 30: COUVERTURE DES BESOINS EN ECS PAR L'ÉNERGIE SOLAIRE

Le gisement de solaire thermique est évalué en fonction de l'ensoleillement moyen sur le site. Les données Satel-Light permettent de l'estimer à 1 300 kWh/m<sup>2</sup>/an.

En considérant des panneaux solaires thermiques plans, ayant un rendement de l'ordre de 30 % en moyenne, cela représente une production potentielle de 390 kWh/m<sup>2</sup>/an de chaud. Dans le cas de capteurs sous vide, ayant un rendement supérieur (environ 35 %), cette production peut en moyenne être estimée à 455 kWh/m<sup>2</sup>/an.

Pour exemple, pour un îlot composé de bâtiments de logements collectifs tel que l'îlot E3 (39 logements), il faudrait une surface d'environ 90 m<sup>2</sup> de panneaux solaires thermiques pour couvrir 50 % des besoins. Une installation par bâtiment est à prévoir.

---

La production d'ECS par capteurs solaires thermiques présente un fort intérêt pour l'hôtellerie. Dans le cadre de la création d'un réseau de chaleur, cette solution a cependant pour incidence la baisse de la densité énergétique globale du réseau.

---



### 3.6.2. Le solaire photovoltaïque

Une installation photovoltaïque se compose de modules solaires, eux-mêmes constitués de cellules photovoltaïques, généralement conçues à base de silicium. Ces générateurs transforment directement l'énergie solaire en électricité (courant continu).

La puissance est exprimée en Watt-crête (Wc), unité qui définit la puissance électrique disponible aux bornes du générateur dans des conditions d'ensoleillement optimales.

Le potentiel du projet « Dessaux – Les Aubrais » est évalué à 110 kWh/an/m<sup>2</sup> (donnée TECSOL, pour une inclinaison de 30°, plein sud) en fonction des technologies de capteurs utilisés, soit un potentiel intéressant mais insuffisant pour une rentabilité rapide compte tenu des tarifs de rachat de l'électricité en vigueur aujourd'hui.

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

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

Cette solution n'est pas envisageable sur les bâtiments de logements en raison d'une non-adéquation entre la courbe de production photovoltaïque (principalement la journée) et la consommation (principalement le matin et le soir).

Cette solution doit donc être en priorité utilisée sur les bâtiments tertiaires ou commerciaux.

Une étude spécifique à l'échelle des bâtiments tertiaires ou commerciaux, lorsque ceux-ci seront définis plus précisément, devra donc être menée pour déterminer la pertinence de cette solution pour le projet.

---

Les tarifs d'achat sont actuellement trop peu avantageux pour avoir un temps de retour sur investissement intéressant (de l'ordre de 20 ans environ).

Cependant, avec l'augmentation du coût de l'électricité, l'autoconsommation pour les bâtiments tertiaires et commerciaux peut s'avérer intéressante.

Elle peut être installée de manière décorrélée de la stratégie énergétique de la zone d'aménagement, puisque les panneaux n'ont pas d'impact sur le dimensionnement des autres systèmes énergétiques.

De plus, cette solution n'entraîne pas de conflit d'usage des toitures avec le solaire thermique en raison de la différence de bâtiments ciblés par ces deux solutions.

---

### 3.6.3. Le solaire hybride

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

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

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

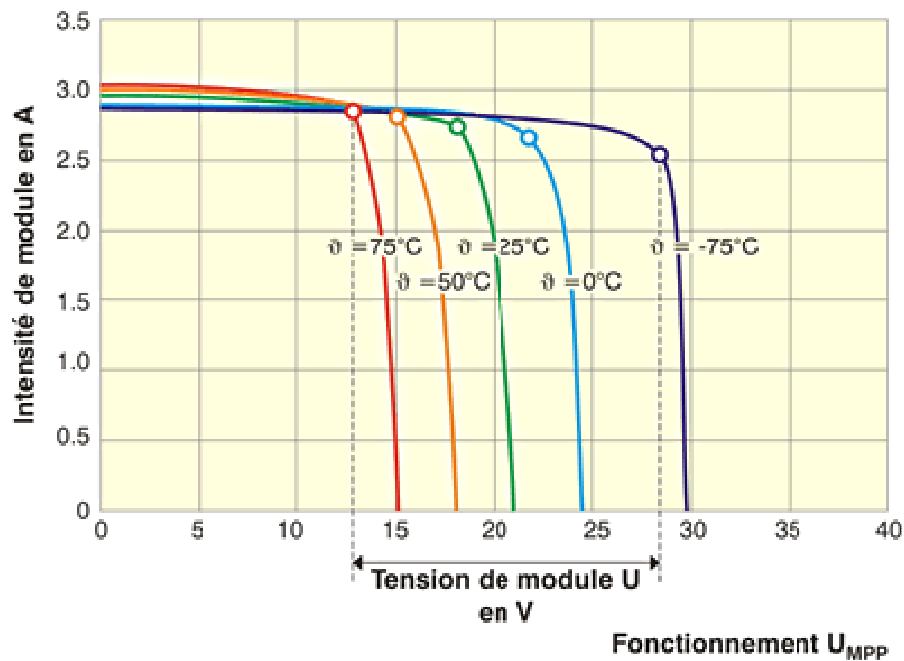


FIGURE 31: INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA PUISSANCE INSTANTANÉE DES PANNEAUX SOLAIRES

Les capteurs photovoltaïques sont placés sur la couche supérieure du module. Ils sont reliés au réseau électrique par différents équipements de régulation et de sécurité, comme pour n'importe quelle installation photovoltaïque.

Les capteurs thermiques sont placés en sous face, afin de capter la chaleur générée par le fonctionnement des capteurs photovoltaïques. Un fluide caloporteur les parcourt et transmet la chaleur accumulée au ballon d'eau chaude comme pour un panneau solaire classique.

Les capteurs hybrides optimisent l'usage des rayonnements solaires grâce au fluide caloporteur qui circule dans l'échangeur et refroidit les cellules photovoltaïques en augmentant ainsi leur rendement tout en récupérant leur chaleur pour alimenter la production d'ECS.

Ce système de cogénération présente de nombreux avantages. D'une part, l'utilisation de la surface disponible, sur le toit par exemple, est optimisée par la combinaison de la production électrique et thermique par le même panneau. D'autre part, le rendement des cellules photovoltaïques est augmenté grâce à un abaissement de leur température. Dans le cas d'un capteur hybride, une partie du rayonnement solaire non convertie en électricité est capté par le liquide caloporteur destiné à chauffer l'eau chaude sanitaire.

En revanche, la production solaire thermique n'est pas optimisée par rapport à un capteur solaire thermique traditionnel de même taille, car le rayonnement n'est pas direct sur le fluide caloporteur puisqu'il est en sous couche, la fluide ne récupère que les déperditions des modules photovoltaïques par convection et conduction.

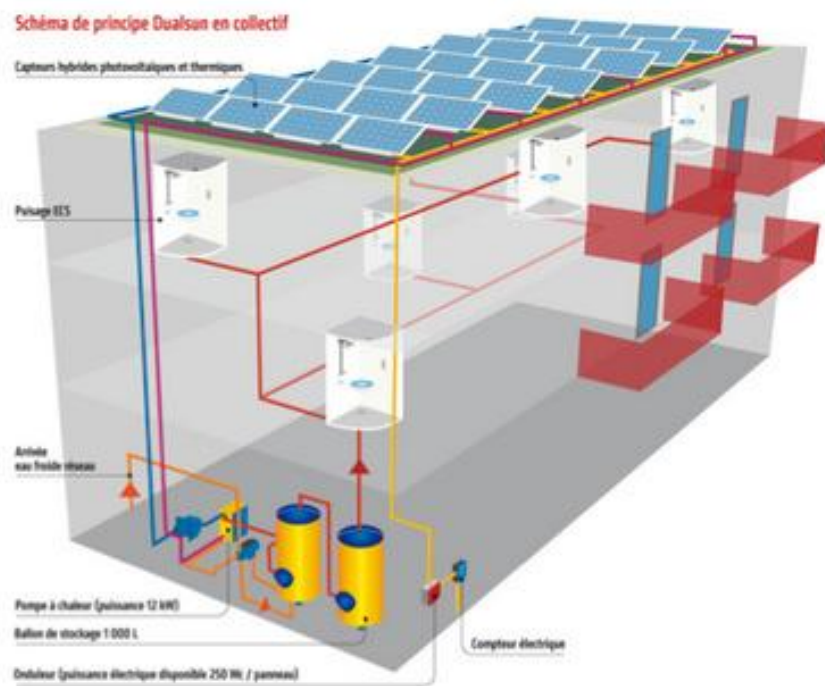


FIGURE 32: SCHÉMA DE PRINCIPE D'UNE INSTALLATION COLLECTIVE DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ ET D'ECS

La production d'ECS par capteurs solaires hybrides présente un fort intérêt pour les bâtiments résidentiels. Dans le cadre de la création d'un réseau de chaleur, cette solution a cependant pour incidence la baisse de la densité énergétique globale du réseau.

Au vu de la typologie des bâtiments qui seront implantés au Nord et au Sud, l'implantation de panneaux solaires hybrides semble pertinente. De plus, cette solution a l'avantage par rapport au solaire thermique classique d'assurer en même temps une production d'électricité renouvelable.

### 3.6.4. L'éclairage public solaire photovoltaïque

L'éclairage public est un service indispensable à la vie d'un quartier mais représente un coût important pour les collectivités locales. En effet, la mise en lumière nocturne assure la bonne circulation des véhicules et des piétons (sécurité, confort visuel, etc.). De plus, la puissance moyenne d'un point lumineux d'éclairage public installé en France est d'environ 140 W pour un fonctionnement moyen de 3900 h/an environ. Ce poste de dépense énergétique représente ainsi environ 50 % des consommations électriques d'une collectivité soit environ 18 % des consommations énergétiques toutes énergies confondues.

Avec l'augmentation du coût de l'électricité prévue pour les prochaines années, réduire la consommation d'électricité liée à l'éclairage public est un enjeu stratégique pour les collectivités.

Afin de limiter l'impact énergétique et financier lié au fonctionnement de ces lampadaires, il est possible de mettre en place un mini réseau intelligent assurant la gestion de l'éclairage public à partir d'énergie produite grâce au solaire photovoltaïque.

Cette solution s'apparente à un Smart-Grid, présenté ci-dessous :

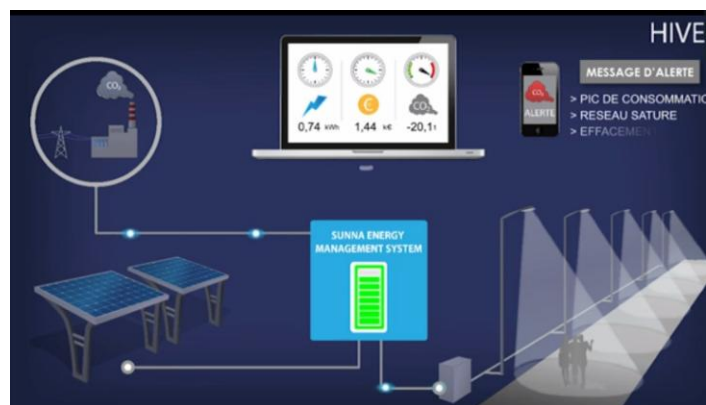


FIGURE 33: ILLUSTRATION DU FONCTIONNEMENT DE L'ÉCLAIRAGE INTELLIGENT

#### Principe de fonctionnement :

Une centrale solaire (située sur la toiture d'un bâtiment public par exemple) produit de l'énergie électrique destinée à l'éclairage public. Un système central de management de l'énergie récupère cette énergie et la stocke pour la réutiliser la nuit. Ce système est aussi connecté au réseau électrique. Lorsque le stockage d'énergie est plein, l'énergie est renvoyée sur le réseau électrique. Au contraire, si le stockage n'est pas suffisamment rechargé, il prend de l'énergie sur le réseau pour compléter la charge.

Les lampadaires sont alimentés depuis le système de management central. Lors de période de pic de consommation, l'énergie stockée peut être utilisée pour faire de l'effacement et limiter ce pic.

Ce principe de fonctionnement est très bien illustré sur cette animation : <http://sunna-design.fr/sunna/project/reseaux-intelligents/>

Une autre alternative existe, c'est l'installation de lampadaires solaires autonomes. Pour cela, il faudra étudier précisément les ombrages créés par les bâtiments du quartier afin de déterminer la production solaire des différents lampadaires selon leur lieu d'installation. Cette solution permet de réduire la consommation énergétique mais ne permet pas d'utiliser les stockages d'énergie pour réduire les pics de consommations ni renvoyer un éventuel surplus d'énergie sur le réseau.



FIGURE 34: LAMPADAIRES SOLAIRES AUTONOMES

---

La consommation d'énergie liée à l'éclairage public représente un poste de dépense important.

La création d'un réseau intelligent d'éclairage public à partir d'énergie solaire permettrait de réaliser des économies importantes et de réduire les coûts d'énergie de la collectivité pour les années à venir.

L'installation de lampadaires solaires autonomes est une autre alternative pour un éclairage public 100 % renouvelable.

---



### 3.7. Le Smart-Grid à l'échelle urbaine

La mise en place d'un Smart-Grid s'appuie sur trois axes principaux :

- la mesure de l'ensemble des consommations (bureaux, logements, commerces, équipements publics, etc.),
- la mise en place de moyens de production d'énergies renouvelables et de stockage,
- le pilotage du réseau au niveau local et la gestion de l'équilibre entre production et consommation locale.

Les principaux objectifs d'un Smart-Grid sont :

- Prévoir, piloter et optimiser l'utilisation des EnR,
- Gérer les consommations et réduire l'appel de charge en période de pointe,
- Générer des profits grâce à l'effacement et le stockage d'énergie,
- Participer à la gestion du réseau en cas de besoins.

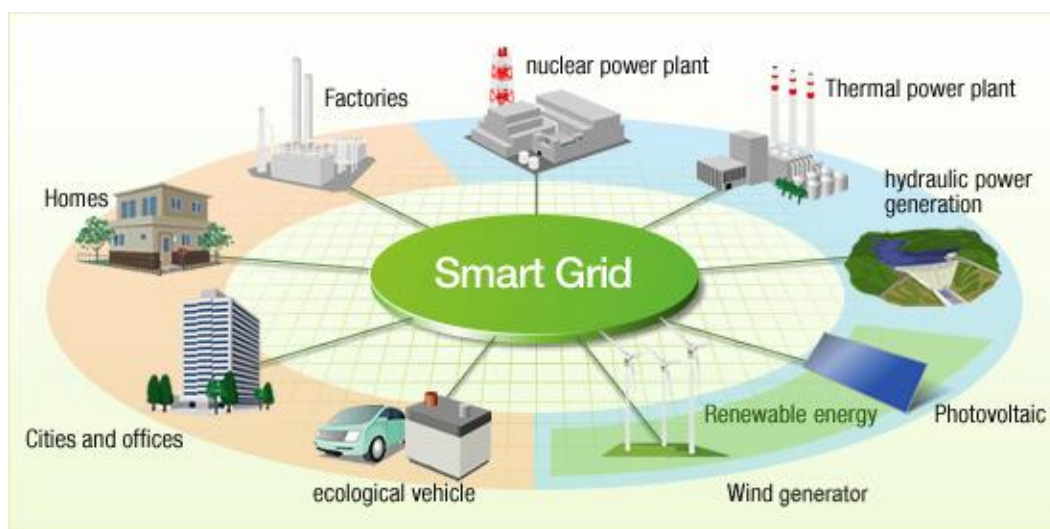


FIGURE 35: LES ÉQUIPEMENTS ET ACTEURS D'UN PROJET SMART-GRID

Plusieurs démonstrateurs de Smart-grids sont actuellement en cours de développement en France notamment à Issy-les-Moulineaux où le premier pilote d'optimisation énergétique à l'échelle d'un quartier est en cours de tests. Ailleurs en France, d'autres projets sont en cours de réalisation.

Les objectifs de ces projets sont de tester les technologies permettant de gérer au mieux les différents éléments d'un Smart-Grid (consommateurs, production EnR décentralisée, stockage, ...) afin d'améliorer ces dernières dans le but de réaliser des installations fiables et performantes dans les prochaines années.

Dans le cadre de l'aménagement de ce quartier, la mise en place d'un Smart-Grid pourrait permettre d'optimiser l'utilisation des EnR présentes sur le projet, de gérer l'effacement afin de limiter les pointes d'appel de puissance et de réaliser des gains financiers.

---

Une étude spécifique préalable à la mise en place d'un smart-grid devra être réalisée.

Elle devra prendre en compte les retours d'expériences des démonstrateurs afin de proposer une solution optimale pour la gestion de l'énergie du quartier.

---

## 3.8. L'éolien

### 3.8.1. Grand et moyen éolien

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

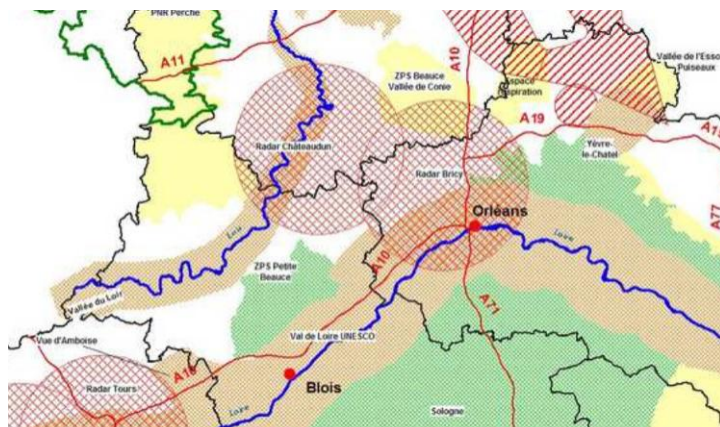


FIGURE 36: ZONE DE CONTRAINTES POUR L'IMPLANTATION D'ÉOLIENNES

La zone du projet se trouve sur des zones de contraintes particulières (contraintes liées au milieu urbain, au patrimoine et à une zone de radar notamment) pour l'installation d'éoliennes.

Le potentiel éolien est plutôt faible (inférieur à 5m/s), l'utilisation de cette ressource n'est donc pas favorable.

De plus, la zone d'implantation du projet est située dans une zone non favorable à l'implantation de grandes ou moyennes éoliennes. Le recours à cette énergie renouvelable n'est donc pas envisageable.

### 3.8.2. Petit éolien

Le petit éolien concerne les machines de moins de 36 kW installées souvent à l'initiative de particuliers, d'agriculteurs ou d'entreprises. Leur puissance varie de quelques centaines de Watts à 20 ou 30 kW. La hauteur de leur mât ne dépasse en général pas une trentaine de mètres. Pour atteindre un gisement de vent intéressant, la hauteur du mât doit souvent être au minimum de 18 m.

Évaluer son "gisement éolien" est une étape indispensable et délicate : la force, la fréquence et la régularité des vents sont des facteurs essentiels. Avant d'envisager une installation, un mât de mesure doit être installé afin de vérifier la présence ou non d'un gisement de vent. D'une manière générale, l'Association Française des Professionnels du Petit Éolien conseille plutôt l'installation de petites éoliennes en milieu productif non turbulent (zones rurales ou périurbaines) qui ont fait la preuve de leurs performances.

#### Focus sur un nouveau type d'éolienne :

Une alternative est en cours de développement pour offrir une nouvelle solution pour l'intégration d'éoliennes en milieu urbain. Ce concept s'appelle l'« arbre à vent ». Cette éolienne produit de l'énergie à partir de multiples « mini-éoliennes » à axe vertical dispersées sur une structure (« tronc ») à l'image de feuilles sur un arbre. Le but est de recueillir l'énergie des courants d'air, vents coulis, vortex, et autres couloirs de vent qui sont très importants dans les centres urbains ou périurbains de par l'agencement même des places et bâtiments.

La production d'électricité est assurée par l'ensemble des feuilles tournantes qui agissent comme autant de mini éoliennes capables, par l'action du vent, d'entraîner en rotation un nombre défini de générateurs logés au pied de chaque couple de feuilles. La micro-électricité ainsi générée est multipliée par autant de feuilles que possède un arbre pour aboutir à la puissance minima requise.

Grâce à ces feuilles très légères, le seuil de démarrage est abaissé à 2m/s au lieu de 4m/s pour les autres types de petites éoliennes. Conséquence directe, l'arbre à vent est actif en moyenne 200 jours par an contre 110 pour les éoliennes à axe horizontal.

La production d'énergie est donc plus importante. Enfin, il est très important de noter que cette éolienne est silencieuse et a une esthétique très soignée ce qui permet une intégration harmonieuse dans un cadre urbain ou périurbain à proximité d'habitations.



FIGURE 37: VUE D'ARTISTE ET PHOTO D'UN PROTOTYPE INSTALLÉ À PLEUMEUR-BODOU (22)

La densité urbaine étant très importante, l'implantation d'éoliennes « classiques » n'est pas envisageable à grande échelle.

L'implantation d'arbres à vent dans les espaces publics est une solution intéressante pour exploiter les corridors de vent créés par le quartier lui-même.

Cette solution s'intégrant dans le paysage urbain de manière harmonieuse, elle peut être un atout de communication important tout en produisant une quantité non négligeable d'énergie. Des études complémentaires sont à mener dans le cas où cette solution est envisagée afin de définir les emplacements optimaux compte tenu de la programmation.

### 3.8.3. Les éoliennes de bâtiment

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



FIGURE 38: EXEMPLE D'ÉOLIENNES DE BÂTIMENT

La faisabilité de cette solution s'arbitre en fonction des contraintes de l'environnement direct proche. Des études complémentaires sont à mener dans le cas où cette solution est envisagée.

## 3.9. Bilan Atouts/Contraintes

### 3.9.1. Production de chaleur

Technologie	Faisabilité	Avantages	Inconvénients
Raccordement réseau de chaleur existant	Forte	Limite l'investissement et permet d'accéder à une ressource renouvelable et mutualisée	Cohérence des régimes de température des différents bâtiments Pas de subventions Fonds Chaleur
Géothermie basse énergie sur aquifère profond	Forte	Exemplarité de la démarche Pas de transport du combustible Possibilités de systèmes emboîtables pour s'adapter au phasage Emprise au sol très faible Subventions Fonds Chaleur (40% voire 50%) Possibilité de garantie pour la Maîtrise d'Ouvrage	Coût d'investissement très élevé
Géothermie très basse énergie : pompe sur micro réseau de chaleur	Forte	Besoins et potentiel en phase. Ressource disponible toute l'année Mutualisation des coûts d'investissements et d'exploitation du pompage Compatibilité multi-énergie renouvelables Production de rafraîchissement à usage direct Limitation des pertes thermiques	Sous réserve d'obtention des autorisations nécessaires pour accéder à la nappe classée ZRE Étude de faisabilité à mener Encore peu d'opérations de ce type réalisées
Géothermie sur champ de sondes	Non	Production de chaud et stockage de la chaleur possible	Nécessite le forage du sol pour installer les sondes et une surface au sol non négligeable
Récupération de chaleur sur eaux usées	Oui	Permet d'utiliser une énergie de récupération	Caractéristiques du collecteur EU à préciser Ne permet pas d'approvisionner toute la zone
Récupération de chaleur sur eaux grises	Oui	Diminue les besoins énergétiques pour la production d'ECS	Diminue la densité énergétique dans le cas de l'installation d'un réseau de chaleur
Solaire thermique	Oui	Production de chaleur permettant de couvrir plus de 50 % des besoins d'ECS	Diminue la densité énergétique dans le cas de l'installation d'un réseau de chaleur
Solaire hybride	Oui	Production de chaleur permettant de couvrir plus de 50 % des besoins d'ECS Assure aussi une production d'électricité	Diminue la densité énergétique dans le cas de l'installation d'un réseau de chaleur

TABLEAU11: BILAN ÉNERGIE RENOUVELABLE POUR LES BESOINS DE CHALEUR



### 3.9.2. Production de froid

Technologie	Faisabilité	Avantages	Inconvénients
Géothermie très basse énergie : pompe sur micro réseau de chaleur	Forte	Besoins et potentiel en phase. Ressource disponible toute l'année Mutualisation des coûts d'investissements et d'exploitation du pompage Compatibilité multi-énergie renouvelables Production de rafraîchissement à usage direct Limitation des pertes thermiques	Sous réserve d'obtention des autorisations nécessaires pour accéder à la nappe classée ZRE Étude de faisabilité à mener Encore peu d'opérations de ce type réalisées
Géothermie sur champ de sondes	Non	Production de froid et stockage de la chaleur possible	Nécessite le forage du sol pour installer les sondes et une surface au sol non négligeable Aquifère présent à 25 mètres compromet la stabilité du champ de sondes
Récupération d'énergie sur eaux usées	Oui	Permet d'utiliser une énergie de récupération	Caractéristiques du collecteur EU à préciser Ne permet pas d'approvisionner toute la zone
Production de froid à partir d'un réseau de chaleur (absorption)	Forte	Permet d'accéder à une ressource renouvelable, mutualisée et inutilisée en été	Nécessite une étude de faisabilité pour déterminer la pertinence de cette solution

TABEAU 8: BILAN ÉNERGIE RENOUVELABLE POUR LES BESOINS FROID

### 3.9.3. Production d'électricité

Technologie	Faisabilité	Avantages	Inconvénients
Solaire photovoltaïque	Oui	Système indépendant des autres Technologie maîtrisée	Tarifs de rachat peu incitatif
Solaire hybride	Oui	Système produisant aussi de la chaleur pour chauffer l'ECS	Tarifs de rachat peu incitatif
Réseau solaire intelligent	Oui	Eclairage public indépendant énergétiquement. Réseau intelligent avec système de stockage d'énergie permettant l'effacement en cas de pics de consommation	Etude de faisabilité complète à réaliser Investissement plus important qu'une solution d'éclairage public classique
Grand et moyen éolien	Non	Production locale d'électricité	Site non adapté Potentiel faible
Éoliennes de bâtiment	Mitigé	Production locale d'électricité	Potentiel faible
Arbre à vent	Non	Production locale d'électricité	Potentiel à évaluer en fonction des corridors de vent créés par la disposition des bâtiments

TABEAU 9: BILAN ÉNERGIE RENOUVELABLE POUR LES BESOINS EN ÉLECTRICITÉ

Le projet d'aménagement urbain InterRives, présente des besoins en chaud et en froid qu'il est possible de satisfaire par une production *in situ*.

En effet, le potentiel de développement en énergies renouvelables sur les communes d'Orléans et de Fleury-les-Aubrais est intéressant.

Parmi les potentiels étudiés, le raccordement à un des (ou les) deux réseaux de chaleur existants, la géothermie basse énergie sur aquifère profond ou sur des aquifères superficiels sont les solutions qui semblent les plus pertinentes.

#### Les particularités du site

Le projet InterRives s'intègre dans un tissu urbain dense. Deux réseaux de chaleur biomasse avec cogénération passent à proximité directe des îlots construits et présentent donc un gisement très intéressant pour assurer l'alimentation en chaud du projet.

#### Les besoins

Les besoins de chaleur (chauffage et ECS) sont trois fois supérieurs aux besoins de froid.

Les besoins de froid ne concernent que des bâtiments situés dans la partie centrale du projet (phase 1 et 2).

#### Le raisonnement

Trois échelles de production énergétique sont possibles :

Globale, à l'échelle du projet (interconnexion phase1/phase 2 via un réseau de chaleur commun),

Groupe de bâtiments ou îlots (mutualisation de plusieurs bâtiments, mini réseaux de chaleur),

Bâtiment.

## 4. SCÉNARIOS ÉNERGÉTIQUES RETENUS

Les solutions énergétiques qui paraissent les plus intéressantes sont le raccordement aux réseaux de chaleur existants, la géothermie basse énergie sur aquifère profond (Dogger) et la géothermie très basse énergie sur aquifère superficiel. Ces solutions composent ainsi les différents scénarios énergétiques présentés ci-dessous, devant maintenant faire l'objet d'une comparaison technico-économique.

Les différents scénarios ainsi envisageables sont :

- Le scénario de référence correspond à la solution énergétique de base, avec un investissement initial relativement faible.
- Le premier scénario EnR correspond à l'extension du réseau de chaleur de la SODC et de la SOFLEC
- Le deuxième scénario EnR correspond à la géothermie basse énergie sur Dogger avec appoint gaz.
- Le troisième scénario EnR correspond à la géothermie très basse énergie sur aquifère superficiel (nappe de Beauce) avec appoint gaz si nécessaire.

## 5. TABLE DES ILLUSTRATIONS

### 5.1.1. Figures

Figure 1 : Mix énergétique de la France en 2015 .....	3
Figure 2 : Localisation des communes d'Orléans et Fleury-les-Aubrais.....	4
Figure 3 : Localisation du projet Dessaux – les Aubrais .....	5
Figure 4: Carte des zones d'intérêt.....	6
Figure 5: Carte des ZPPAUP .....	6
Figure 6: Esquisse du projet InterRives et zoom sur la zac multisite .....	7
Figure 7: ZAC à proximité du projet interrives.....	8
Figure 8: Températures à Orléans-Bricy.....	8
Figure 9: Précipitations à Orléans-Bricy.....	9
Figure 10: DJU.....	9
Figure 11: Ensoleillement moyen annuel .....	10
Figure 12: Plan du réseau de chaleur existant SODC et de sa zone de concession.....	13
Figure 13: Réseau de chaleur existant de la sodc et projet interrives .....	14
Figure 14: Bilan simplifié en énergie et en matières premières de la centrale biomasse SODC.....	15
Figure 15: Réseau de chaleur existant de dalkia et projet interrives.....	16
Figure 16: Schéma de principe du fonctionnement d'une machine à absorption double effet .....	18
Figure 17: Les solutions géothermiques .....	19
Figure 18: Couches géologiques d'Orléans.....	20
Figure 19: Formation du dogger en région centre.....	20
Figure 20: Evaluation du potentiel de géothermie au sein du projet .....	21
Figure 21 : Schéma de principe de la géothermie très basse énergie .....	22
Figure 22: Données géothermiques superficielles du projet interrives.....	22
Figure 23: Illustration d'un champ de sonde sous un bâtiment .....	23
Figure 24: Principe de fonctionnement de la récupération de chaleur sur eaux grises (verticale) .....	24
Figure 25: Schéma du système de récupération de chaleur du centre aquatique de levallois-Perret .....	25
Figure 26: Tracé du réseau d'assainissement actuel dans le périmètre du projet.....	25
Figure 27: Principe d'une chaufferie bois .....	26
Figure 28: Dimensionnement de la puissance d'une chaudière bois.....	26
Figure 29: Volume de bois sur pied en forêt de production inventoriée par catégorie de propriété .....	27
Figure 30: Couverture des besoins en ecs par l'énergie solaire.....	28
Figure 31: Influence de la température sur la puissance instantanée des panneaux solaires.....	30
Figure 32: Schéma de principe d'une installation collective de production d'électricité et d'ecs .....	31
Figure 33: Illustration du fonctionnement de l'éclairage intelligent .....	32
Figure 34: Lampadaires solaires autonomes .....	32
Figure 35: Les équipements et acteurs d'un projet smart-grid.....	33
Figure 36: Zone de contraintes pour l'implantation d'éoliennes.....	34
Figure 37: Vue d'artiste et photo d'un prototype installé à Pleumeur-Bodou (22) .....	35
Figure 38: Exemple d'éoliennes de bâtiment .....	35

### 5.1.2. Tableaux

Tableau 1: Caractéristiques principales du projet interrives .....	3
Tableau 2: programmation prévisionnelle du projet.....	7
Tableau 3: Estimation des besoins de chaleur .....	11
Tableau 4: Estimation des besoins de froid .....	11
Tableau 5: Estimation des besoins d'électricité.....	12
Tableau 6: Potentiel d'extension du réseau sodc .....	14
Tableau 7: Caractéristiques principales de la chaufferie biomasse sodc.....	15
Tableau 8: bilan énergie renouvelable pour les besoins froid .....	37
Tableau 9: Bilan énergie renouvelable pour les besoins en électricité.....	37