

Des thermiciens-Conseils à votre écoute et au service de
la maîtrise de l'énergie et de l'efficacité énergétique



Siège social :
2, rue Jules Ferry
36300 Le Blanc
Tel : 02 54 37 19 68
Fax : 02 54 37 99 27
Portable : 06 67 29 44 35
E-mail : adev.energie@gmail.com

Agence CENTRE :
3, rue Charles Garnier
37300 Joué-lès-Tours
Tel : 02 47 87 22 29
Fax : 02 54 37 99 27
Portable : 06 67 29 44 35
E-mail : adev.energie@gmail.com

ETUDE DE FAISABILITE DU POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES

*ZONE D'AMENAGEMENT CONCERTÉ
DU VAL D'OUEST SUR LA COMMUNE D'ORLÉANS*

Version 3 - Août 2017



L'énergie est notre avenir, économisons-la !

FICHE PROJET

Objet

Le présent document constitue l'étude de faisabilité du potentiel de développement des énergies renouvelables au stade création de la zone d'aménagement concerté (ZAC) du Val d'Ouest de la commune d'Orléans.

Maître d'ouvrage

Centre Municipal de la ville d'Orléans
Place de l'Etape
45040 Orléans Cedex 1

Bureau d'étude

ADEV Energie
2, rue Jules Ferry
36300 LE BLANC

Sommaire

I. INTRODUCTION.....	6
II. LE CADRE JURIDIQUE	7
III. L'OPERATION D'AMENAGEMENT.....	8
III.1. LA VILLE D'ORLEANS	8
III.2. LE PROJET DE LA ZAC D'ORLEANS VAL OUEST	10
III.3. LES CONTRAINTES DU SITE	12
III.4. L'AMENAGEMENT DU SITE.....	13
IV. LES ENJEUX ET LE CADRE LOCAL.....	14
IV.1. ORLEANS METROPOLE.....	14
IV.2. LA VILLE D'ORLEANS	14
IV.3. LA ZAC DU VAL OUEST.....	14
V. MAITRISE DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE LIEES AU TRANSPORT ET A L'ECLAIRAGE PUBLIC.....	17
V.1. TRANSPORT	17
V.2. ECLAIRAGE PUBLIC.....	19
VI. CONSOMMATIONS ENERGETIQUE DES BATIMENTS : ETUDE DE GISEMENT EN ENERGIE RENOUVELABLE DISPONIBLE A PROXIMITE DU SITE	20
VI.1. POINTS PARTICULIERS SUR OUVRAGES EN ZONE INONDABLE	20
VI.2. HYPOTHESES DE TRAVAIL SUR RESEAU DE CHALEUR	20
VI.3. LA FILIERE BOIS – BIOMASSE.....	21
VI.3.1 Principe de fonctionnement.....	21
VI.3.2 Contexte local et enjeu de la filière bois	22
VI.3.3 Réseau de chaleur dans l'Orléanais	25
VI.3.4 Etude d'opportunité à l'échelle de la ZAC	28
VI.3.5 Infrastructure et mode de gestion.....	31
VI.4. LA CHALEUR ISSUE DE CENTRE D'INCINERATION	31
VI.4.1 Principe de fonctionnement.....	31
VI.4.2 Contexte local	32
VI.4.3 Possibilités à l'échelle de la ZAC.....	33
VI.5. LA CHALEUR FATALE	33
VI.5.1 Définition	33
VI.5.2 Possibilités à l'échelle de la ZAC.....	34
VI.6. LA FILIERE BIOGAZ – METHANISATION	35
VI.6.1 Définition	35
VI.6.2 Contexte local et enjeu de la filière	37
VI.6.3 Potentiel de gisement dans l'Orléanais.....	39
VI.7. LA FILIERE GEOTHERMIE TRES BASSE TEMPERATURE.....	40
VI.7.1 Définition	40
VI.7.2 Contexte local et enjeu	41
VI.7.3 Etude d'opportunité à l'échelle de la ZAC	45
VI.7.4 Infrastructure et mode de gestion.....	48
VI.7.5 Point particulier captage chaleur sur eaux usées	48
VI.8. LA FILIERE SOLAIRE – ACTIF ET PASSIF	51
VI.8.1 Définition	51

VI.8.2	<i>Etude d'opportunité à l'échelle de de la ZAC</i>	55
VI.8.3	<i>Infrastructure et mode de gestion</i>	56
VI.9.	L'EOLIEN.....	57
VI.9.1	<i>Définition</i>	57
VI.9.2	<i>Etude d'opportunité à l'échelle de la ZAC</i>	59
VI.10.	LA COGENERATION	60
VI.10.1	<i>Définition</i>	60
VI.10.2	<i>Etude d'opportunité à l'échelle de la ZAC</i>	61
VII.	SYNTHESE	63
VII.1.	RESSOURCES EN ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION DISPONIBLES.....	63
VII.2.	BESOINS ENERGETIQUES	65
VIII.	CONCLUSION	66

ANNEXES

Annexe 1 : Notion de confort thermique	67
Annexe 2 : Protection solaire pour confort d'été	69
Annexe 3 : Notion de déphasage et d'inertie.....	70
Annexe 4 : Résultat de modélisation solaire photovoltaïque	71
Annexe 5 : Différent mode d'isolation.....	72
Annexe 6 : Chauffage automatique au granulé de bois	73
Annexe 7 : Pompes à chaleur - différents captages	75

I. INTRODUCTION

La France s'est engagée à satisfaire à l'horizon 2020, 23% de part d'énergies renouvelables. L'objectif des lois Grenelle I et Grenelle II est d'intégrer la problématique énergétique en amont des réflexions relatives à l'évolution des territoires, afin de permettre l'émergence de politiques locales de réductions des consommations d'énergie, de limitation des émissions de gaz à effet de serre et de développement de l'utilisation des énergies renouvelables et de récupération. Un des enjeux de l'aménagement est de répondre aux besoins des populations (en termes de logements, de services, d'activités économiques) tout en s'efforçant de limiter les consommations d'énergie et d'espace, compte tenu de leurs impacts environnementaux et socio-économiques.

Quelle que soit leur forme, les projets d'aménagement engagent les territoires sur de très longues périodes. Les choix qui sont réalisés au niveau des équipements, de l'organisation spatiale ou des constructions ne pourront généralement pas être modifiés avant vingt, trente ou même cinquante ans.

En 2009, la loi Grenelle 1 a introduit dans le code de l'urbanisme une nouvelle obligation : désormais toute action ou opération d'aménagement soumise à étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité du développement des énergies renouvelables.

L'objectif est de mettre en place une planification énergétique urbaine visant une maîtrise globale des dépenses en énergie dans les bâtiments et services publics mais aussi les entreprises et l'habitat.

Rappel de la demande :

Il est demandé la réalisation d'une étude de faisabilité du potentiel de développement des énergies renouvelables.

L'étude réalisée dans le présent document permet de compléter l'étude d'impact et de répondre à la réglementation en vigueur.

Périmètre de l'étude :

Cette étude porte sur la création de la ZAC du Val d'Ouest située sur la ville d'Orléans et a pour objet de vérifier le potentiel de développement des énergies renouvelables sur le site.

Nous regarderons dans un premier temps la possibilité technico-économique d'intégrer des énergies renouvelables sur la ZAC, puis élargirons le champ d'action aux quartiers voisins.

L'avancement du projet se situe au stade de création de la ZAC.

Points de vigilance :

Le périmètre de la zone est situé en zone inondable. Les estimations chiffrées des différentes préconisations d'intégration d'énergie renouvelable de l'étude intègre bien cette contrainte.

II. LE CADRE JURIDIQUE

L'étude répond à l'article L128-4 du code de l'urbanisme indiquant que « Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L300-1 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. »

L'article L300-1 du Code de l'urbanisme définit les actions et opérations d'aménagement par leurs objets qui peuvent être :

- de mettre en œuvre un projet urbain,
- de mettre en œuvre une politique locale de l'habitat,
- d'organiser le maintien, l'extension ou l'accueil des activités économiques,
- de favoriser le développement des loisirs et du tourisme,
- de réaliser des équipements collectifs ou des locaux de recherche ou d'enseignement supérieur,
- de lutter contre l'insalubrité,
- de permettre le renouvellement urbain,
- de sauvegarder ou de mettre en valeur le patrimoine bâti ou no bâti et les espaces naturels.

III. L'OPERATION D'AMENAGEMENT

III.1. LA VILLE D'ORLEANS

Orléans, capitale économique, administrative et financière de la région Centre, compte 117.991 habitants et s'intègre à une métropole de 275.037 habitants (regroupant 22 communes) dans l'environnement prestigieux de la Loire. L'aire urbaine d'Orléans comprend 90 communes pour un total d'environ 429 130 habitants (la 21^{ème} de France). Capitale régionale, Orléans est la deuxième ville la plus peuplée de la région Centre-Val de Loire.

Orléans est au cœur d'un pôle économique majeur dans les domaines de l'environnement, l'informatique et la logistique (3ème plate-forme logistique de France avec 9.000 salariés, 3ème région de production de matériel électronique et informatique), la pharmacie et la cosmétique (premier pôle pharmaceutique de France, deuxième région française pour la cosmétique et les parfums).

Le visage urbain d'Orléans présente une riche diversité, une qualité du cadre de vie de ses zones urbaines, mais aussi de ses espaces agricoles péri-urbains et de ses zones naturelles.

Le Plan Local de l'Habitat (PLH) de la ville d'Orléans est ambitieux. En effet, il préconise la création de 500 logements par an sur la ville d'Orléans. Le projet de création de la ZAC Val d'Ouest est donc en adéquation avec les objectifs de création de logements sur le territoire.

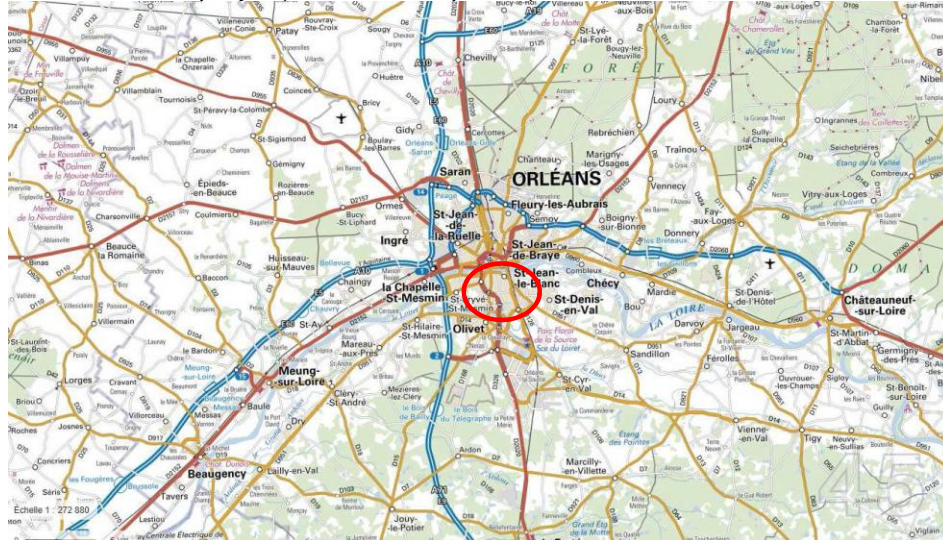
Le développement de la ville d'Orléans est centré sur des objectifs décrits dans différents documents d'urbanisme tel que le PCET, PLU, SCOT et PADD...

Les principaux leviers d'actions au sein de la ville d'Orléans sont sur :

- Le renouvellement du bâti énergivore
- La création de nouveaux logements très performants
- Le développement des réseaux de chaleur à partir de ceux existants et vers les zones les plus denses, en faisant muter les chaudières vers des sources énergétiques propres et renouvelables
- La valorisation des énergies renouvelables
- La qualification et le cadencement des transports en commun

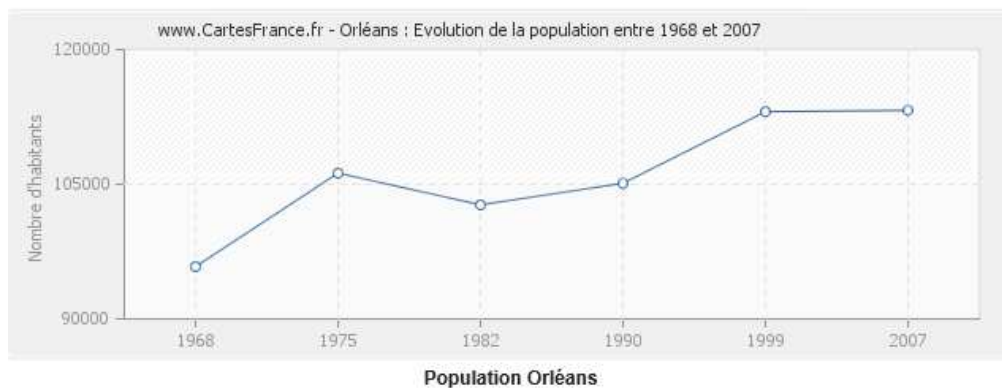
Le projet concerne la ville d'Orléans (45). La ville souhaite aménager une ZAC (Zone d'Aménagement Concerté) à vocation de logements en extension de la zone urbanisée située au sud de la Loire.

Localisation du projet (source : Géoportail)



➤ Population actuelle et évolution

Depuis 1968, la population d'Orléans ne cesse d'augmenter et compte actuellement près de 115 000 habitants. La densité de population de 4120 hab/km².



http://www.cartesfrance.fr/carte-france-ville/population_45234_Orleans.html

III.2. LE PROJET DE LA ZAC D'ORLEANS VAL OUEST

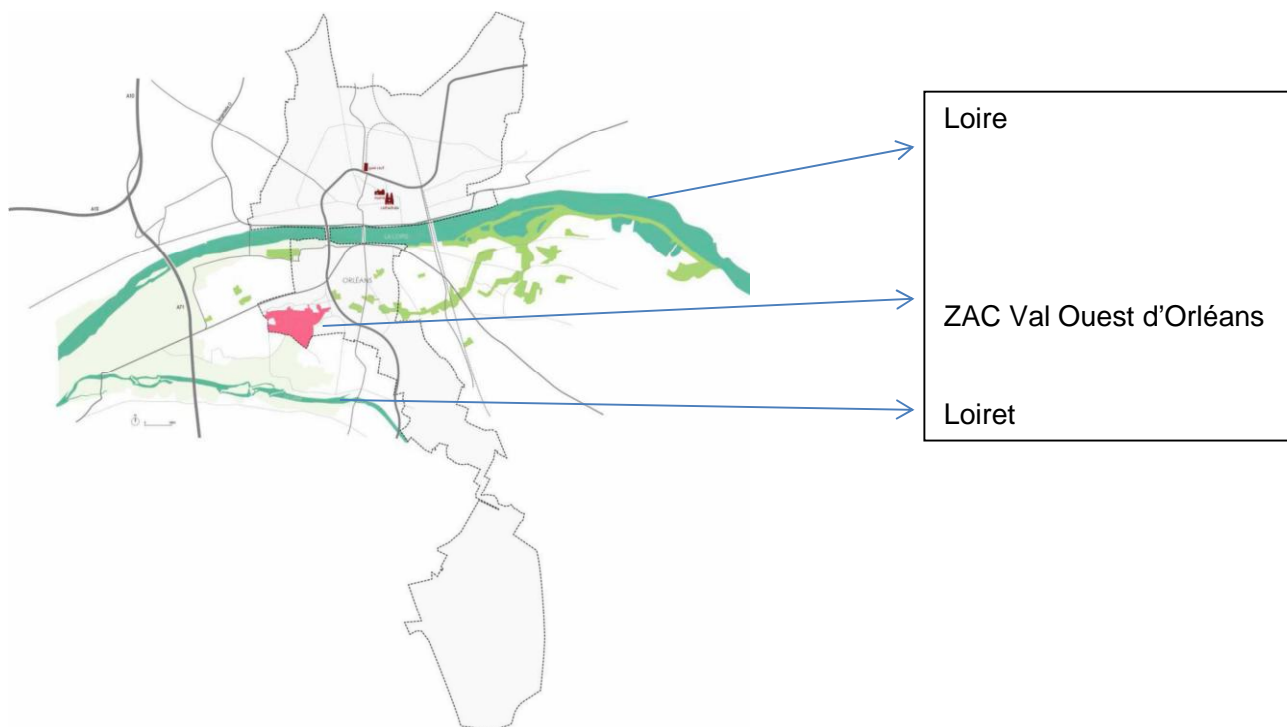
Le projet d'aménagement se situe au cœur du Val Ouest, à la frange entre l'urbanisation actuelle de la ville et les terrains agricoles au Sud. Outre ses franges urbaines et agricoles, le site met en tension les limites interurbaines entre St Pryvé, Saint Mesmin et Olivet. La proximité de la Loire et du Loiret constituent un élément important de l'appréhension du site.

Le projet se situe dans différentes zones du PLU d'Orléans et est destiné à accueillir 559 logements. La mixité sociale et de typologie de logements est un des objectifs du projet.

La zone du Val d'Ouest s'étend sur environ 54 hectares et se situe au sud-ouest de la commune d'Orléans, en limite communale, bordé par les communes d'Olivet au sud et de Saint-Pryvé-Saint-Mesmin à l'ouest.

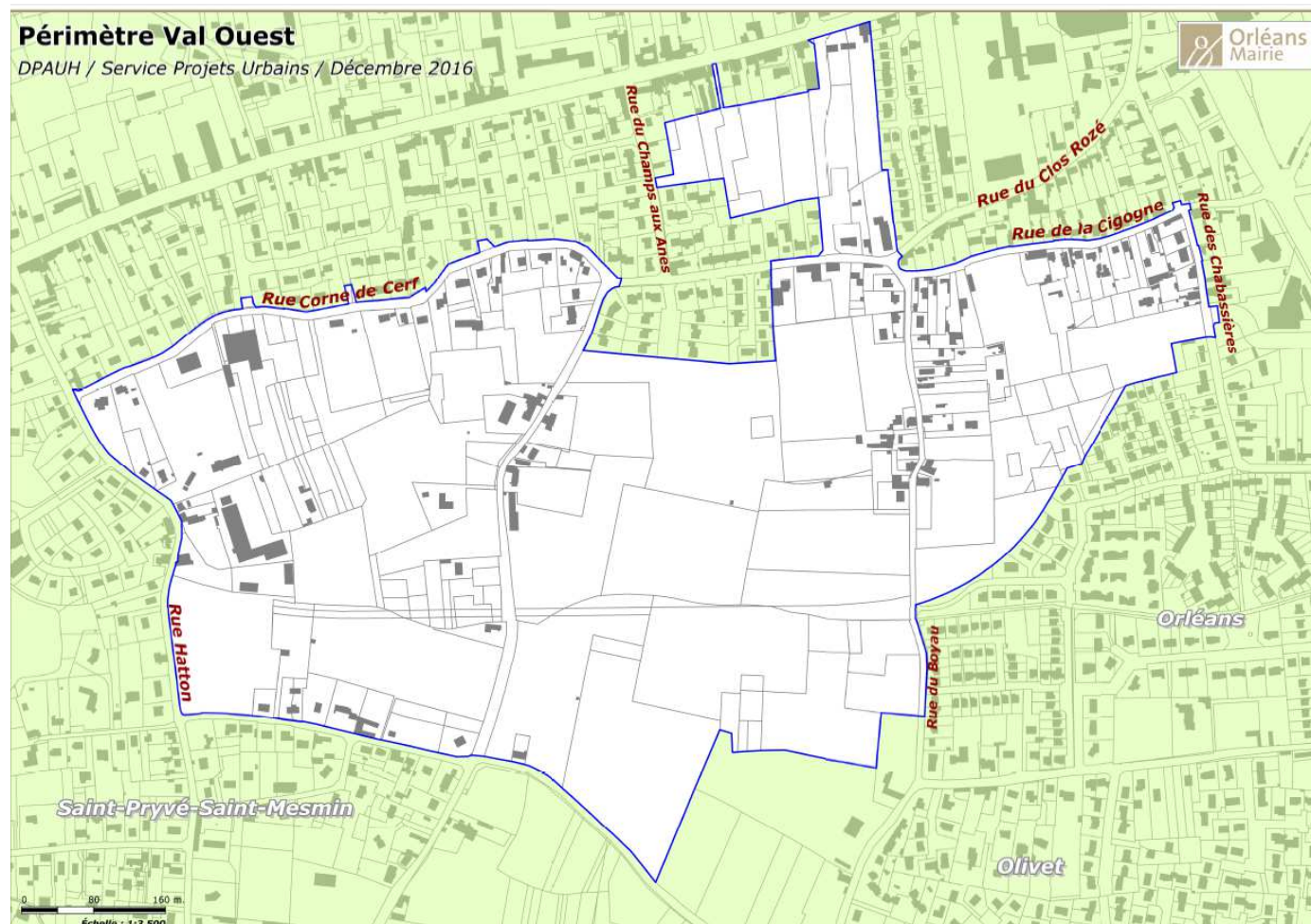
Sa position le place à l'interface entre espace urbain et espace agricole : au nord, l'avenue de Saint-Mesmin forme un axe historique de faubourg, caractérisé par des constructions rapprochées et des habitations individuelles construites sous forme de lotissements en deuxième rideau. Le site d'étude se compose en grande majorité de terres agricoles de nature différente (cultures, maraîchage, pépinières avec ou sans serres), dont certaines ne sont plus exploitées (partie nord)..

Du point de vue géographique, le site Val Ouest s'inscrit dans le val d'Orléans, territoire délimité par la Loire (au nord) et le Loiret (au sud) qui correspond au lit majeur du fleuve ligérien, et de ce fait soumis à un risque d'inondation (aléa moyen et fort).



Source : note d'intention SEMDO

Périmètre de la ZAC du Val Ouest



Source Orléans Métropole

— Périmètre de la ZAC

III.3. LES CONTRAINTES DU SITE

MILIEUX NATURELS DU SITE

Aucune Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et floristique n'interfère avec le périmètre de l'aire d'étude ni ne se situe à proximité. Les ZNIEFF les plus proches ont été définies sur le cours de la Loire et sont distantes, au plus proche, d'environ 850 m de l'aire d'étude. Il s'agit des ZNIEFF :

- de type 2 FR 240030651 "La Loire Orléanaise", distance 850 m,
- de type 1 FR 240000023 "Ile de Saint-Pryvé-Saint-Mesmin et abords", distance 1,9 km
- de type 1 FR 240030777 "Le Loiret aval et la Pie", distance 2,6 km.

L'aire d'étude retenue n'interfère pas avec un site Natura 2000. Les sites les plus proches ont été délimités sur le cours de la Loire au titre de la directive Habitats et de la directive Oiseaux :

- Zone Spéciale de Conservation (ZSC) FR 2400528 "Vallée de la Loire de Tavers à Belleville-sur-Loire, distante au plus proche de 850 m de l'aire d'étude,
- Zone de Protection Spéciale (ZPS) FR 2410017 "Vallée de la Loire du Loiret", distante au plus proche de 850 m de l'aire d'étude,

Une réserve naturelle nationale (délimitée sur la Loire et le Loiret sur les communes de La Chapelle-Saint-Mesmin, Chaingy, Mareau-aux-près, Saint-Pryvé-Saint-Mesmin) créée pour la protection de l'avifaune nicheuse et migratrice, de libellules rares, du Castor d'Europe, de la forêt alluviale naturelle à Orme lisse et Peuplier noir, de diverses plantes protégées se développant sur les rives et les levées est située pour sa limite la plus proche à environ 2 km de l'aire d'étude.

TRAME VERTE ET BLEUE (SRCE)

L'atlas présenté par le SRCE ne fait pas mention pour la zone considérée de son insertion dans une sous-trame de la Trame Verte et Bleue.

GESTION DE L'INONDABILITÉ

Environ un quart du territoire communal d'Orléans est exposé au risque d'inondation qui pèse sur la totalité du Val d'Orléans. Le Val constitue une vaste zone inondable dans le lit majeur du fleuve, au sein duquel le tracé de la Loire a évolué au fil du temps pour se stabiliser dans sa situation actuelle. La dernière grande inondation dans le Val d'Orléans remonte à 1856 (diminution statistique du nombre de crues couplée à la réalisation de digues).

SOLS ET RISQUES KARSTIQUES

Le Val d'Orléans présente un sol instable par endroit, avec des risques d'effondrements karstiques à la présence de cavités souterraines formées par la dissolution du calcaire jusqu'à 20 m de profondeur. Les échanges d'eau entre Loire et Loiret creusent en effet un réseau souterrain (karstique) qui évolue constamment, ce qui complique fortement l'évaluation du risque sur le long terme. La nappe phréatique est très proche : elle se situe à faible profondeur (1 à 3 m). Cette proximité rend problématique la création de bassins de rétention décaissés (site vulnérable aux inondations également par remontée de nappes). La construction de fondations qui introduit un risque d'infiltration d'eau vers la couche calcaire du sol, alors que la couche superficielle est de faible perméabilité, demande également des précautions de traitement.

SITE ARCHÉOLOGIQUE ET HISTORIQUE

L'absence de recherches archéologiques plus systématiques à proximité ne permet donc pas de dresser un aperçu précis des occupations qui pourraient être découvertes dans le secteur de la ZAC.

La situation topographique et géologique du secteur semble cependant favorable à la présence d'occupations anciennes.

Pour la période préhistorique et protohistorique ancienne (Âge du Bronze), des occupations ont déjà été identifiées dans les paléo-chenaux au sud de la Loire, au sein d'anciennes zones humides. Ce type de vestiges peut donc être rencontré au nord et dans le sud de la ZAC.

III.4. L'AMENAGEMENT DU SITE

Le périmètre de la ZAC n'interfère avec aucune des mesures d'inventaire, de gestion ou de protection suivantes :

- Zones Natura 2000
- Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF),
- Zone d'Intérêt Communautaire pour les Oiseaux (ZICO)
- Zone d'application de la Convention de RAMSAR
- Arrêté préfectoral de protection de biotope
- Réserve naturelle nationale et/ou régionale
- Site inscrit ou classé

Par ailleurs, l'étude Trame Verte et Bleue locale ainsi que les prospections de terrain réalisées dans le cadre de l'étude d'impact n'identifient pas de corridor écologique ni d'enjeux de continuité écologique sur le secteur de la ZAC.

IV. LES ENJEUX ET LE CADRE LOCAL

IV.1. ORLEANS METROPOLE

La métropole « Orléans Métropole » regroupe 22 communes et compte 275 037 habitants.

IV.2. LA VILLE D'ORLEANS

Orléans est une commune française, du centre de la France, chef-lieu du département du Loiret et de la région Centre-Val de Loire. Orléans est aussi la capitale de l'ancienne province historique de l'Orléanais.

La ville compte 117 991 habitants et appartient à Orléans Métropole regroupant 22 communes pour un total d'environ 275 037 habitants et à l'aire urbaine d'Orléans comprenant 90 communes pour un total d'environ 429 130 habitants (la 21^{ème} de France). C'est la préfecture régionale mais également la métropole la plus proche de Paris.

Orléans est classée « Ville d'art et d'histoire », et est aux portes de la région naturelle de la Sologne, aux portes des plaines de Beauce, au milieu du Val de la Loire classé au patrimoine mondial de l'humanité, ainsi qu'aux portes de la forêt d'Orléans. Ses habitants s'appellent les Orléanais.

Capitale de l'Orléanais, à 115 kilomètres au sud-ouest de Paris, Orléans est située en bordure nord de la Sologne, en bordure sud de la Beauce et de la forêt d'Orléans.

Orléans se trouve dans le coude septentrional de la Loire, qui la traverse d'est en ouest. La ville appartient au secteur de la vallée de la Loire situé entre Sully-sur-Loire et Chalonnes-sur-Loire, qui a été classé patrimoine mondial de l'humanité par l'UNESCO en l'an 2000.

IV.3. LA ZAC DU VAL OUEST

L'objectif de cet aménagement est de répondre aux besoins en logement de la ville d'Orléans. Les grands objectifs sont de :

- Proposer un projet qui assure la résilience des nouvelles habitations du quartier et participe à une réduction globale de la vulnérabilité pour les quartiers existants,
- Assurer le libre écoulement des eaux et privilégier la transparence hydraulique,
- Instaurer une culture d'habiter avec le risque,
- Préserver les cônes de vue sur la cathédrale,
- Renforcer la trame verte,
- Améliorer la desserte inter quartiers,

Le programme prévisionnel donné à titre indicatif pour estimation des besoins thermiques :

- De l'ordre de 550 logements (80% de logements intermédiaires et de maisons de ville, 20% de logements collectifs)
- Des espaces paysagers et de loisirs en lien avec le projet de piste cyclable prévue dans le projet Loire Trame Verte,
- Une emprise réservée à la réalisation d'un équipement public dont le programme n'est pas déterminé,

Dans le présent projet, il est important de différencier deux parties :

- **La première**, réalisée de façon immédiate par le concessionnaire en l'occurrence, la partie dite VRD (Voirie, éclairage public et réseaux) ;
- **La seconde**, totalement privée, portée à l'échelle de la parcelle acquise

Il semble donc évident que les besoins et les caractéristiques évolueront au gré du remplissage et qu'un phasage peut être différencié en trois parties.

- PHASE 1 : réalisation des infrastructures
- PHASE 2 : Commercialisation des parcelles (dès la fin des travaux)
- PHASE 3 : Vente des parcelles commercialisées et construction des logements

Il est à noter que le degré d'avancement de remplissage est totalement inconnu et indépendant de la volonté du maître d'ouvrage et que, donc étant donné les inconnues importantes sur ce dossier, les besoins énergétiques évoqués seront basés sur une hypothèse globale de réflexion.

Les bâtiments construits de type logement devront respecter la réglementation thermique en vigueur. En effet, les bâtiments construits aujourd'hui doivent respecter la **Réglementation Thermique 2012**.

Cette réglementation ne s'applique pas :

- Aux constructions provisoires prévues pour une durée d'utilisation de moins de deux ans ;
- Aux bâtiments et parties de bâtiment dont la température normale d'utilisation est inférieure ou égale à 12 °C ;
- Aux bâtiments ou parties de bâtiment destinés à rester ouverts sur l'extérieur en fonctionnement habituel ;
- Aux bâtiments ou parties de bâtiment qui, en raison de contraintes spécifiques liées à leur usage, doivent garantir des conditions particulières de températures, d'hygrométrie ou de qualité de l'air, et nécessitant de ce fait des règles particulières.
- Aux bâtiments ou parties de bâtiments chauffés ou refroidis pour un usage dédié à un procédé industriel ;
- Aux bâtiments agricoles ou d'élevage ;
- Aux bâtiments situés dans les départements d'outre-mer.

La réglementation thermique 2012 comporte trois exigences de résultats : besoins bioclimatiques BBIO, consommations d'énergie primaire Cep et respect du confort en été.

Quelques exigences de moyens, limitées au strict nécessaire, pour refléter la volonté affirmée de faire pénétrer significativement une pratique (affichage des consommations par exemple).

Les exigences de résultats imposées par la RT2012 sont de trois types :

L'efficacité énergétique du bâti BBIO

L'exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti est définie par le coefficient «Bbiomax» (besoins bioclimatiques du bâti). Cette exigence impose une limitation simultanée du besoin en énergie pour les composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage), imposant ainsi son optimisation indépendamment des systèmes énergétiques mis en oeuvre.

La consommation énergétique du bâtiment Cep

L'exigence de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire se traduit par le coefficient « Cepmax », portant sur les consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires (pompes et ventilateurs).

Conformément à l'article 4 de la loi Grenelle 1, la valeur du Cepmax s'élève à **50 kWhép/(m².an)** d'énergie primaire, modulé selon la localisation géographique, l'altitude, le type d'usage du bâtiment, la surface moyenne des logements et les émissions de gaz à effet de serre pour le bois énergie et les réseaux de chaleur les moins émetteurs de CO2. Cette exigence impose, en plus de l'optimisation du bâti exprimée par le Bbio, le recours à des équipements énergétiques performants à haut rendement.

Le confort d'été dans les bâtiments non climatisés TIC

Hypothèses de travail :

- Site : Orléans
- Altitude : inférieure à 150 m
- Locaux catégorie CE1 (bâtiment uniquement chauffé, non refroidi)
- Température extérieure de référence : -7°C

Détermination du Cep :
$$\text{Cep} = 50 \times \text{Mc}_{\text{type}} \times (\text{Mc}_{\text{geo}} + \text{Mc}_{\text{alt}} + \text{Mc}_{\text{surf}} + \text{Mc}_{\text{GES}})$$

$\text{Mc}_{\text{type}} = 1$ (catégorie CE1)

$\text{Mc}_{\text{geo}} = 1$ (zone climat H2b)

$\text{Mc}_{\text{alt}} = 0$ (altitude inférieure à 400 m)

$\text{Mc}_{\text{surf}} = 0$ (uniquement pour résidentiel)

$\text{Mc}_{\text{GES}} = 0$ (fonction des émissions de gaz à effet de serre)

A l'instar de la RT 2005, la RT 2012 définit des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement. Pour ces bâtiments, la réglementation impose que la température la plus chaude atteinte dans les locaux, au cours d'une séquence de 5 jours très chauds d'été n'excède pas un seuil.

Pour les simulations énergétiques de la zone à aménagement concerté les hypothèses suivantes seront retenues :

Les besoins énergétiques exprimés en énergie finale retenus seront de :

logement	kwh/m2.an	kWh/an
Eclairage	3	167700
chauffage	30	1677000
eau chaude sanitaire	15	838500

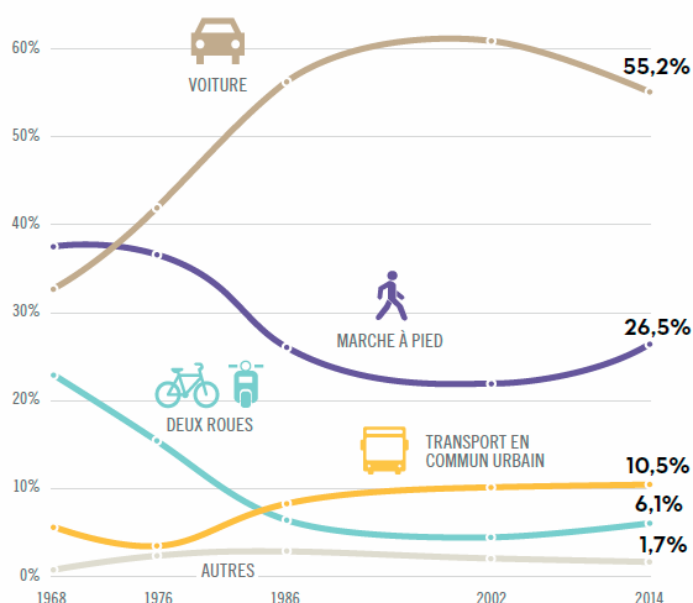
Nb : une surface moyenne de 100 m2 par logement est retenue.

V. MAITRISE DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE LIEES AU TRANSPORT ET A L'ECLAIRAGE PUBLIC

V.1.TRANSPORT

Trajets des résidents de la métropole

Évolution des parts modales des habitants de l'agglomération' :

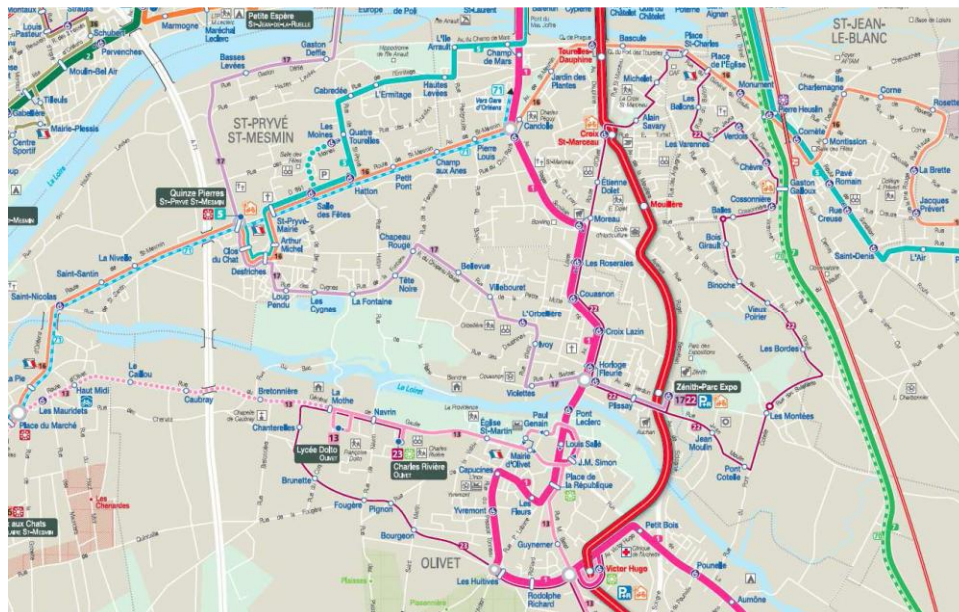


Source : les chiffres clés de la mobilité dans la métropole orléanaise de 2008-2014 (Orléans Métropole)

Cette forte automobilité peut s'expliquer par la densité relativement faible du territoire et la forte proportion de maisons individuelles, mais révèle également pour les actifs du territoire une certaine facilité et une habitude à se déplacer en voiture.

L'utilisation de l'automobile dans les trajets domicile-travail est aussi liée à l'organisation du travail dans les entreprises du territoire. Des horaires en 2x8, en 3x8, et décalés d'une entreprise à l'autre, rendent nécessaire l'usage de la voiture personnelle.

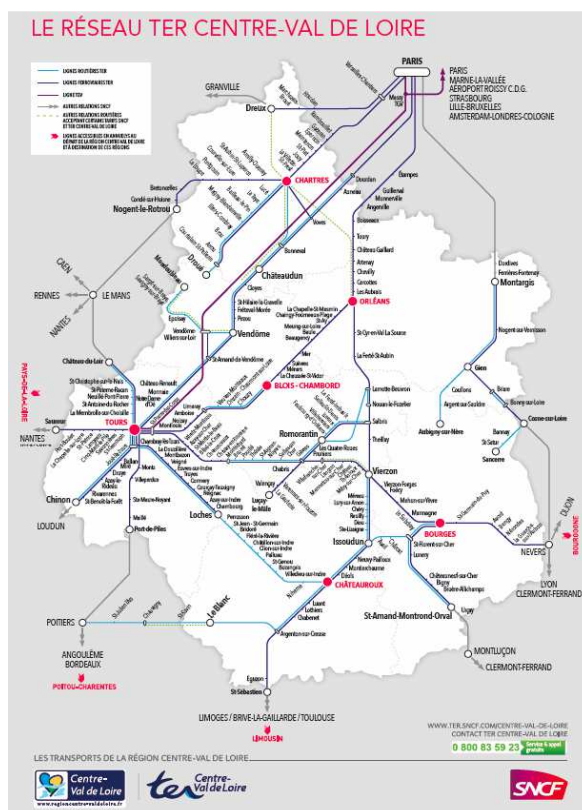
Le transport en commun : Tramway + Bus



33 lignes de Bus
2 lignes de Tram

Source : TAO – plan géographique du réseau

Gares et réseaux ferrés:



2 gares principales sur le territoire :
Gare Orléans
Gare de Fleury les Aubrais

Ces gares sont à 1h de Paris et de
Tours

Source : <https://www.ter.sncf.com/centre-val-de-loire>

On considère que la création de la zone urbanisée va permettre d'accueillir environ 1400 habitants. Nous pouvons donc estimer le nombre d'actif supplémentaire à environ 630 (45% d'actif en France).

Estimation des km effectués par an pour se déplacer au travail et faire des courses :

Nous prenons comme hypothèse qu'un véhicule réalise 28 km/j pour aller au travail et faire ses courses, il réalisera 140 km/semaine.

Avec 630 actifs, nous estimons à $630 \times 140 \times 47 = 4\,145\,400$ km supplémentaires effectués par an. Les émissions de gaz à effet de serre sont donc estimées à plus de **539 T_{eq}CO₂** (130g/km).

Toutefois, il est probable que les futurs habitants de la ZAC habitent déjà la métropole d'Orléans.

La possibilité d'étendre le réseau de transport en commun, et les pistes cyclables est donc un enjeu important pour limiter les rejets de gaz à effet de serre lié au trafic routier.

V.2.ECLAIRAGE PUBLIC

Plusieurs dispositifs peuvent être mis en place pour réduire les consommations d'énergie liées à l'éclairage public :

- Mise en place de systèmes de régulation de tension ou de puissance sur les luminaires d'éclairage extérieur
- Mise en place de système de programmation des installations de luminaires extérieurs (interrupteurs crépusculaires + horloge)
- Mise en place d'éclairage LED performant

Un éclairage rasant peut également être mis en place afin de réduire la pollution lumineuse nocturne et de diminuer les puissances installées.

VI. CONSOMMATIONS ENERGETIQUE DES BATIMENTS : ETUDE DE GISEMENT EN ENERGIE RENOUVELABLE DISPONIBLE A PROXIMITE DU SITE

VI.1. POINTS PARTICULIERS SUR OUVRAGES EN ZONE INONDABLE

Il est possible de prévoir un silo de bois semi-enterré ou aérien pour les chaufferies bois avec la condition que le sommet du silo soit plus élevé que la limite inondable.

Les constructions, équipements, ouvrages et installations seront conçues de façon à résister aux pressions de l'événement de référence ainsi qu'à des tassements ou érosions localisés.

Les matériaux de gros œuvre utilisés seront insensibles à l'eau et parfaitement imperméabilisés jusqu'à une hauteur égale au niveau de la crue de référence majoré de 0,50 m minimum et, de surcroît, ne conduisant pas l'eau par capillarité.

Les équipements électriques sensibles seront implantées au moins 0,50 m au-dessus du niveau de cette dernière.

Les revêtements intérieurs (sols et murs) seront insensibles à l'eau au moins jusqu'à 0,20 m au-dessus du niveau de la crue de référence,

Les appareils type chaudières gaz ou bois seront implantées 0,20 m au-dessus du niveau de la crue de référence ainsi que les armoires de commandes.

Il est obligatoire de différencier les parties inondables et hors d'eau du réseau électrique (créer un réseau séparatif pour les pièces inondables)

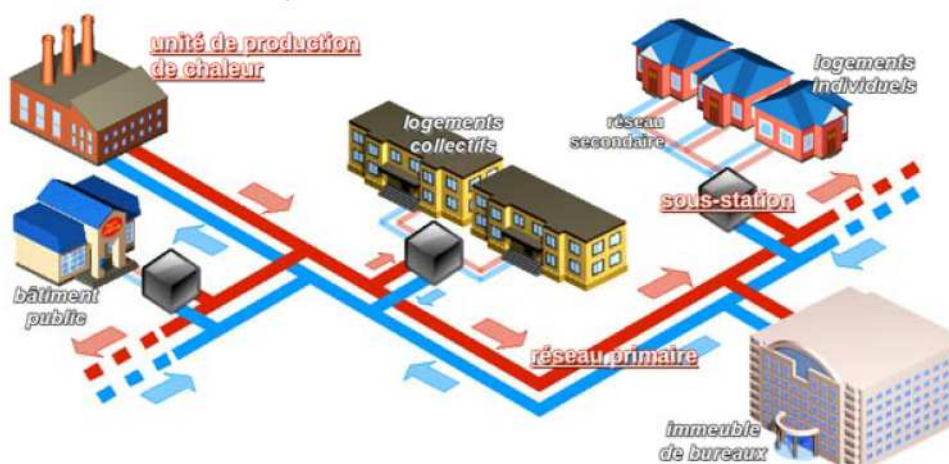
Pour les réseaux enterrés, il faudra prévoir une profondeur suffisante des réseaux et un ancrage adapté à la situation.

VI.2. HYPOTHESES DE TRAVAIL SUR RESEAU DE CHALEUR

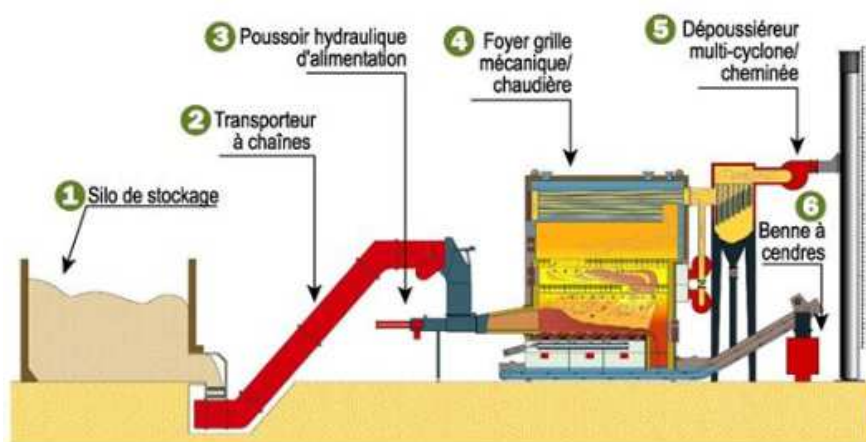
Pour les différentes simulations sur des réseaux de chaleur, nous considérerons que le réseau de chaleur à créer sera situé sous la chaussée des axes routiers de la ZAC à une profondeur de -0.8 m environ. Il permettra de passer devant chaque parcelle pour un raccordement des futurs usagers. Le réseau comprendra les ramifications alimentant les parcelles sans prendre en compte les sous-stations hydrauliques à créer sur chaque parcelle.

VI.3. LA FILIERE BOIS – BIOMASSE

VI.3.1 Principe de fonctionnement



Principe de fonctionnement d'un réseau de chaleur (source Ademe)



Principe de fonctionnement biomasse bois énergie (source www.Biomasse-normandie.org)

VI.3.2 Contexte local et enjeu de la filière bois

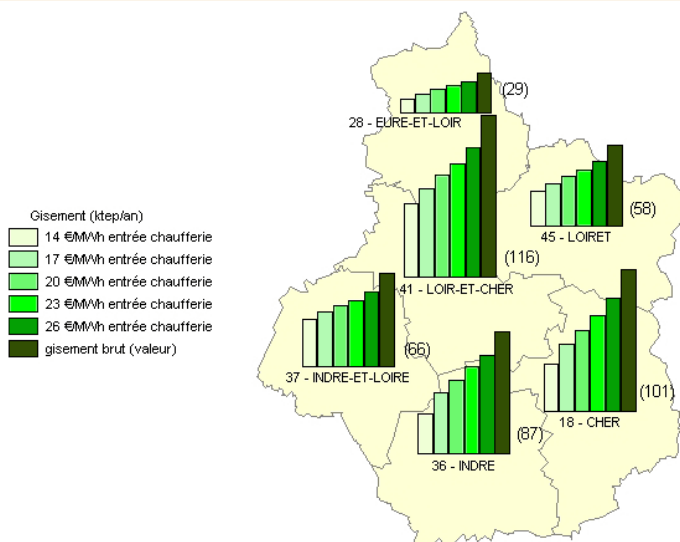
La ressource forestière

La surface forestière en Région Centre représente 940 000 ha soit environ 25 % de la superficie du territoire. 86 % de la forêt est privée, les 14 % restant sont publics.

Eléments de contexte :

- ✚ Prélèvements de 3 millions de m³ en 2010, répartis en 740 000 m³ de bois d'œuvre, 721 000 m³ de bois d'industrie, 277 000 m³ de bois énergie et une estimation de 1,4 millions de m³ de bois énergie auto-consommés soit 61 % de la production biologique annuelle,
- ✚ Augmentation de la récolte en 2010 de plus de 400 000 m³ soit +32 % / 2009 : + 130 000 m³ de bois d'œuvre et +250 000 m³ de bois d'industrie • Volumes supplémentaires disponibles à l'horizon 2020, estimé en 2009 : 220 000 m³ de bois d'œuvre et 580 000 m³ de bois d'industrie et de bois énergie,
- ✚ Augmentation de la demande en bois énergie pour les grands projets industriels émergents et risque de déstabilisation de l'exploitation et des marchés d'approvisionnement des industries régionales en raison de la compétition sur les ressources.

CENTRE
Gisement issu des rémanents de l'exploitation forestière actuelle selon le scénario technico-économique



Equivalence : 1 tonne anhydre = 0,43 tep

Source : Solagro & IFN, 2004

Département↑	Gisement brut	14 €/MWh	17 €/MWh	20 €/MWh	23 €/MWh	26 €/MWh
CHER (18)	101.0	34.1	48.0	58.0	68.2	80.8
EURE-ET-LOIR (28)	29.2	10.6	14.4	17.3	20.0	23.4
INDRE (36)	87.4	29.1	43.5	52.6	61.9	69.9
INDRE-ET-LOIRE (37)	66.4	34.4	39.1	43.5	47.4	53.1
LOIR-ET-CHER (41)	115.7	52.9	64.0	73.3	81.6	92.5
LOIRET (45)	58.1	25.5	31.0	36.1	40.5	46.5

La ressource issue de la transformation du bois
Scieries (45) :

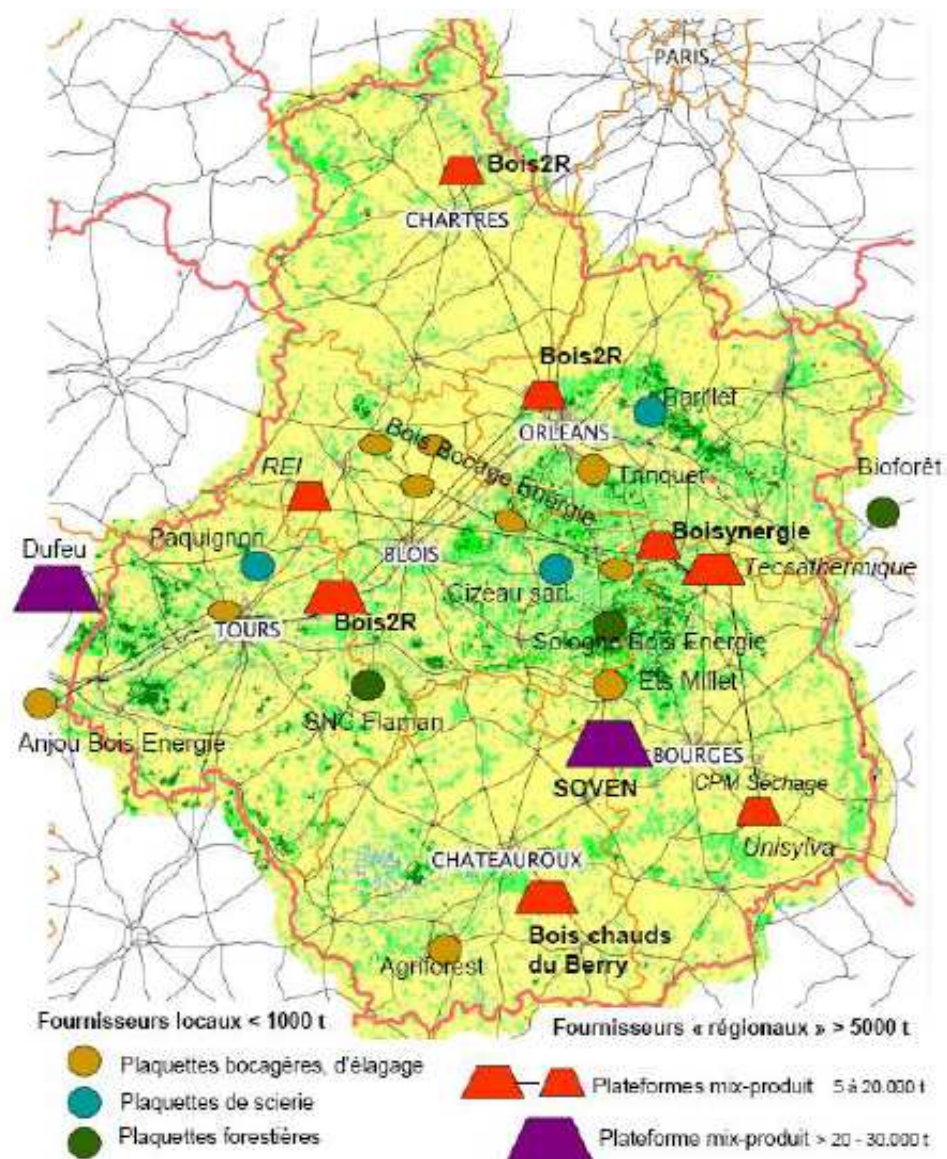
Nom	Adresse	Téléphone	Fax
Etablissements Henry Millet	1482 rue de Gien 45570 Ouzouer sur Loire	02 38 35 60 02	02 38 35 00 27
Exploitations forestières Barillet	12 Rue du Petit Hameau 45110 Chateauneuf sur Loire	02 38 58 43 37	02 38 58 65 10
Exploitations forestières Barillet	Routes d'Ingrannes 45530 Vitry aux Loges	02 38 59 47 40	02 38 59 13 71
Pillette et Fils ETS	72 Avenue de Fontainebleau 45470 Loury	02 38 65 60 29	02 38 52 71 25
Roger (ETS)	40 Route Pithiviers 45450 Ingrannes	02 38 57 13 04	02 38 57 11 63

Source : Arbocentre

La disponibilité de bois énergie type plaquette
De nombreux fournisseurs sont implantés dans la région

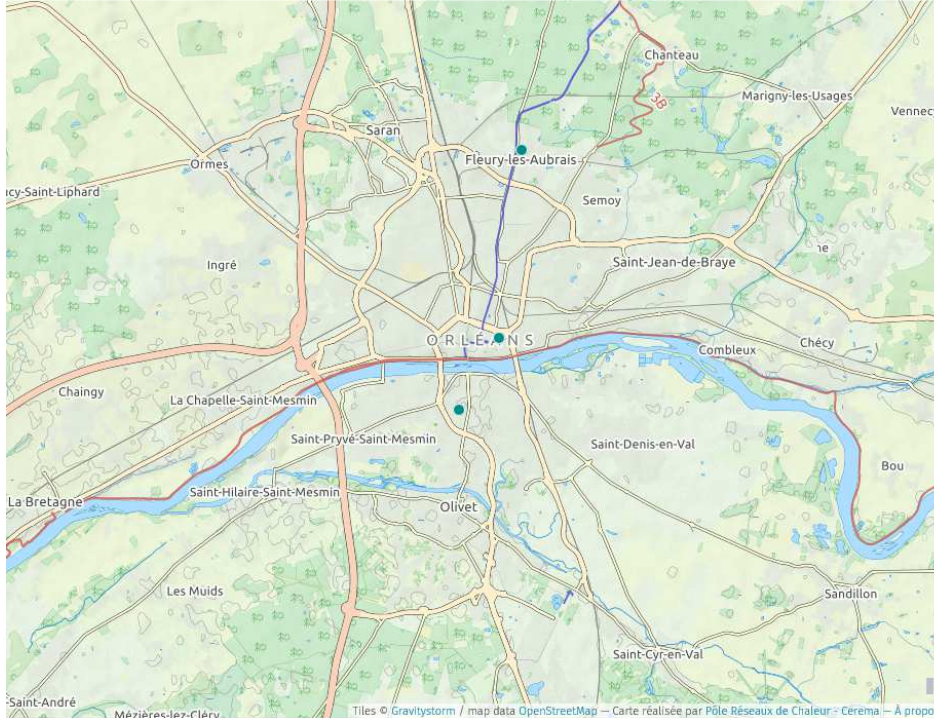
Dpt	Entreprise	Dpt	Entreprise
49	Anjou Bois Energie	18	Biomasse Energie Centre
41	Arbor Essence d'Energie	37	Bois Energie Sud Touraine
36	Les Bois Chauds du Berry	18	Boisnergie
18	Millet	37	Bois 2R
18	SCIC Berry Energie Bocage	49	Dufeu - Veolia
61	SCIC Bois Bocage Energie	37	SNC Entreprise Flaman
41	Sologne Bois Energie	45	Barillet
18	RBM Sologne	37	Didier Cognard
27	Coforouest	37	Ecosys
45	ONF Energie		

Source : Arbocentre



VI.3.3 Réseau de chaleur dans l'Orléanais

Trois réseaux de chaleur urbains biomasse et cogénération:



Source : <http://reseaux-chaleur.cerema.fr/carte-des-reseaux-de-chaleur-et-de-froid-en-france>

Site de Fleury les Aubrais :

Située à proximité de la chaufferie existante, la chaufferie biomasse assure désormais **60 % de la production de chaleur du réseau urbain**, les 40 % restant étant produites par la chaufferie mixte et la cogénération.

L'ensemble de la ressource bois énergie est prélevé dans un rayon de moins de 100 km auprès de sociétés ou d'entrepreneurs forestiers.

La Sologne et la forêt d'Orléans, proches géographiquement, fournissent la plus grande quantité de bois broyés, utilisés pour le réseau de chaleur biomasse.

Chiffres clés

> 4 000 tonnes de CO₂ évitées chaque année à Fleury-les-Aubrais

> 5 KM - Longueur totale du réseau (soit une extension de 2 km).

> 6 984 M² - Superficie totale du site chauffage urbain.

> 190 M³ - Quantité de déchets de bois utilisés par jour, pour le fonctionnement de la chaufferie biomasse.

> 700°C - Chaleur du foyer de la chaudière biomasse.

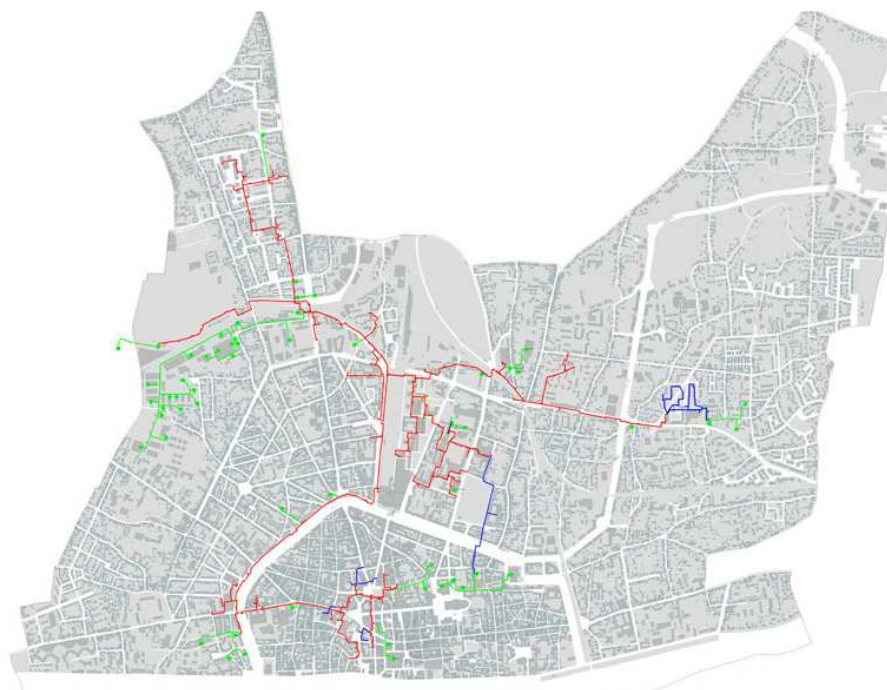
Ville d'Orléans : deux sites

L'investissement pour ces deux projets est de 87 millions d'euros pour une longueur de réseau de 52 km et près de 15 000 logements concernés (soit 27 % de la ville d'Orléans). 90 000 tonnes d'émissions de CO₂ seront évitées chaque année, soit l'équivalent des émissions de 40 000 voitures.

Site d'Orléans quartier Nord : DSP SODC

A terme, le réseau de chaleur, long de **32 km**, alimentera l'équivalent de **12 000 logements** : le centre hospitalier régional d'Orléans et les logements individuels et collectifs situés dans les quartiers Nord, Est et au centre-ville.

Carte du réseau de chaleur urbain d'Orléans



Légende :
rouge et vert : existant
Vert : extension

Source : SODC

Site d'Orléans-la Source quartier sud : DSP SODC

Cette chaufferie biomasse de co-génération présente une puissance de 25 MW thermique :

- 17 MW de puissance pour la production de chaleur alimentant le réseau de chauffage urbain
- 7,5 MW de puissance électrique (l'électricité est injectée sur le réseau et vendue à EDF)

D'une longueur de 25 km, le réseau de chauffage urbain alimente ainsi près de 7500 logements et bâtiments du quartier, pour un équivalent de 13 000 logements chauffés.

Parmi les principaux bâtiments chauffés, on trouve : le campus universitaire, le futur grand hôpital d'Orléans (2015), les établissements scolaires, les centres commerciaux, les immeubles de bureaux...

90 000 tonnes de bois sont consommées annuellement pour le fonctionnement de la chaufferie, l'approvisionnement se limite à un secteur géographique d'un rayon de 100 km.

Cette chaufferie permet d'éviter l'émission de 43 000 tonnes de CO₂.

VI.3.4 Etude d'opportunité à l'échelle de la ZAC

Nous ferons des simulations de réseau de chaleur sur le projet de création de la ZAC du Val d'Ouest d'Orléans.

Présentation des deux scénarios possibles

Scénario 1 : distribution de chaleur sur l'ensemble des logements (559)

Scénario 2 : distribution de chaleur sur l'ensemble des logements (559) et sur les serres agricoles situées au sud (hors périmètre de la ZAC)

Détermination des besoins de chaleur :

Scénario 1 : un ratio de besoins de chaleur de 30 kWh/m²RT.an pour le chauffage et de 15 kWh/m²RT.an pour l'eau chaude sanitaire des logements est retenu.

Nous estimons à 55 900 m² de surface construite soit un besoin de chaleur totale de 2515 MWh/an et un besoin électrique d'éclairage de 167.7 MWh/an. Le besoin de puissance de chauffage est estimé à 1.95 MW.

La longueur du réseau à créer pour alimenter les logements du futur quartier à partir de la chaufferie centrale (hypothèse de possibilité de chaufferie bois centralisé) est estimée à environ **4695 m**.

Scénario 2 : il est estimé une surface de serre agricole de l'ordre de 36 000 m². Avec un ratio de chauffage de l'ordre de 350 kWh/an.m², et un besoin de puissance de 200 W/m² ; les besoins de chaleur des serres sont de 12 600 MWh/an.

Au total, les besoins de chaleur seraient de 15 115 MWh/an et le besoin de puissance de chauffage de 9.15 MW.

La longueur du réseau à créer pour alimenter les logements du futur quartier et des serres agricoles à partir de la chaufferie centrale (hypothèse de possibilité de chaufferie bois centralisé) est estimée à environ **5046 m**.



Distance réseau à créer	SC1	SC2
ml	4696	5046
kW	1956,5	9156,5
MWh/an	2515,5	17631
densité énergétique MWh/ml	0,54	3,49

Commentaires :

La densité énergétique du réseau de chaleur du scénario 1 est très faible, et reste très inférieure à la cible de l'ADEME **1,5 MWh/ml** pour rentabiliser un projet.

Le scénario 2 présenterait une densité énergétique plus importante sous réserve d'une étude de faisabilité confirmant les besoins énergétiques des serristes.

Points particulier sur la future réglementation thermique : RT2020

Cette réglementation devrait imposer une augmentation de la performance thermique et notamment des consommations énergétiques. Il est fort probable que les besoins de chaleur des logements baissent avec cette nouvelle réglementation. La baisse des besoins baissera la densité énergétique et donc la rentabilité du réseau de chaleur

Analyse de rentabilité du projet de réseau de chaleur

Hypothèses de travail :

Le projet de chaleur urbain sera de faire circuler de l'eau chaude dans un réseau primaire enterré isolé avec une température de l'ordre de 80°C. Le retour de chaleur sera lui aussi fixé suivant les besoins des usagers à 50-60°C. Cette hypothèse permet de travailler sur tout type de régime de température d'eau chaude.

Il est possible d'estimer la puissance du réseau de chaleur avec une puissance de chaufferie de l'ordre de **2 MW pour le scénario de base et de 9 MW pour le scénario englobant les serres**. Nous considérerons que les besoins de puissance pour la production d'eau chaude sanitaire seront faibles. Cette hypothèse permet de ne pas sur-dimensionner la chaufferie **biomasse**

Pour le scénario 1 : chaudière bois de 1 MW + chaudière gaz de 2 MW (appoint secours)

Pour le scénario 2 : chaudière bois de 4 MW + chaudières gaz de 9 MW (appoint secours)

Le bois sera du type déchiqueté avec un prix moyen de 25 à 30 €/MWh. Pour le gaz, nous retiendrons un prix moyen de 45 à 50 €/MWh. Le bois couvrira 60% des besoins énergétiques du réseau de chaleur.

Estimation du chiffrage de l'opération : (chiffrage à préciser lors d'une étude de faisabilité technico-économique)

	Puissance chaufferie en MW	Coût réseau € HT	Coût chaufferie + MOE projet € HT	Coût total € HT
Chaufferie biomasse SC1	2	2 113 043	800 000	2 913 043
Chaufferie biomasse SC2	9	2 27 0543	3 265 000	5 535 543

Estimation des coûts d'exploitation :

	sc1	sc2	sc1 (aides)*	sc2 (aides)*
P1	95 589	581823	95589	581823
P2	30 000	100000	30000	100000
P3	50 000	150000	50000	150000
P4	101 435	188 935	71004	132254
€/an	277 024	1 020 758	246 593	964 077
€ HT/MWh	110	58	98	55

*Taux d'aide de l'ordre de 30%

P1 : coût de l'énergie

Contrat P2

- Maintenance préventive des installations.
Option: interventions de dépannage incluses, hors pièces.

Contrat P3

- Prise en charge de l'ensemble de l'installation.
Garantie totale des équipements pris en compte.
- Option: possibilité de garantir les économies d'énergie Gaz contractuelles par contrat d'assurance.

Contrat P4

- Financement du remplacement de gros matériels, lissé sur toute la durée d'investissement ou contrat (durée de 20 ans)

Commentaires :

Nous constatons que le prix de revient du MWh de chaleur est très important, et ne permettrait pas la viabilité économique du projet sur la ZAC seule. En identifiant quelques autres grands consommateurs comme les serres agricoles, il serait peut-être envisageable de rendre le projet viable économiquement (une étude de faisabilité est à prévoir).

Dans l'hypothèse qu'une extension Nord du réseau de chaleur d'Orléans-la-source soit envisagée, le prix de revient avec subvention serait de l'ordre de 98 € HT/MWh pour le scénario1 et de 55 € HT/MWh pour le scénario2.

Le tarif de la chaleur du scénario 2 pourrait être acceptable par les usagers.

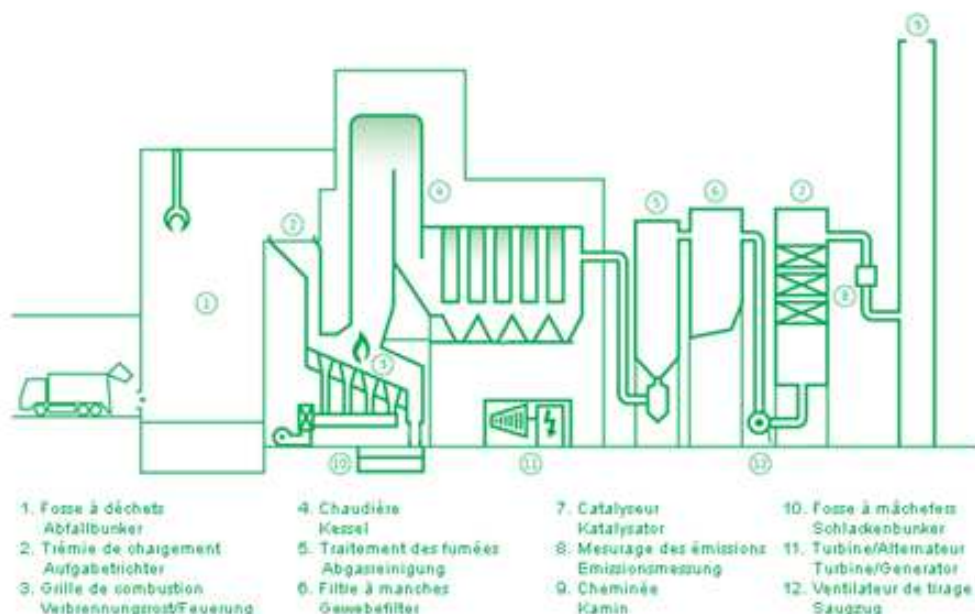
La consommation théorique de bois serait de l'ordre de 500 T/an pour le scénario1 et de 3500 T/an pour le scénario 2. Ces niveaux de consommation ne devraient pas créer de tension sur le marché du bois énergie local.

VI.3.5 Infrastructure et mode de gestion

Installation du réseau de chaleur	Sous la voirie du domaine public
Installation de la chaufferie bois	Sur une parcelle privée ou publique
Conséquence sur le foncier	faible
Durée de vie	Réseau chaleur : 50 ans Chaufferie : 30 ans
Aides financières	Fond chaleur de l'Ademe
Nuisances possibles	Bruit (si pas de silencieux, poussières (déchargement du bois+rejets cheminée)
Mode de gestion	Régie ou DSP (délégation de service public)

VI.4. LA CHALEUR ISSUE DE CENTRE D'INCINERATION

VI.4.1 Principe de fonctionnement



Combustion

Les déchets ménagers sont déchargés dans la fosse à déchets (1). Les déchets acheminés par la trémie (2) tombent sur la grille de combustion (3) où ils sont incinérés à une température minimale de 850 °C. Les mâchefers sont les résidus de combustion. Ils sont entreposés dans la fosse à mâchefers (10).

Traitement des fumées

Dans le réacteur (5), les polluants sous forme gazeuse sont séparés des fumées par la réaction avec du bicarbonate de soude. Les métaux lourds et polluants organiques tels que dioxines et furannes sont séparés des fumées par adsorption avec du coke de lignite. Le filtre à manches (6) permet de piéger les fines particules, les solides et les agents de sorption. Le catalyseur (7) détruit ensuite les oxydes azotés. On procède ensuite au mesurage des émissions de gaz (8) avant d'évacuer les fumées par la cheminée (9).

Production d'énergies

La chaleur de combustion transforme l'eau dans la chaudière (4) en vapeur qui est utilisée pour produire de l'énergie électrique et thermique (11).

VI.4.2 Contexte local

Les équipements de l'Agglo

En la matière, l'Agglo dispose de plusieurs équipements techniques pour remplir ses missions :

- Un réseau de 6 déchetteries accueille les encombrants et autres déchets spécifiques (déchets verts, déchets dangereux, gravats, cartons...).
- L'usine de Traitement des Ordures Ménagères (UTOM) située à Saran permet l'incinération des déchets ménagers et pratique la valorisation énergétique. Un centre de tri y est intégré permettant la séparation avant recyclage des déchets sélectifs (hors verre et cartons).
- Enfin, une plateforme de maturation des mâchefers (résidus solides issus de l'incinération des déchets ménagers résiduels) permet de ne plus recourir à des plateformes extérieures éloignées ou à l'enfouissement.



Source : agglo

Unité d'incinération de Saran en quelques chiffres :

L'unité d'incinération a été mise en service en 1996. La combustion des déchets permet de produire de l'électricité dont une partie est consommée pour les besoins propres de l'installation et le reste est revendu.

Quelques chiffres :

Incinération de 108 000 T/an

Production pour 1.6 million d'euros d'électricité avec groupe turbo alternateur

Production de 50 000 MWh/an d'électricité. 80% de la production est vendue.

VI.4.3 Possibilités à l'échelle de la ZAC

Compte tenu de la non proximité de la ZAC avec l'usine d'incinération de Saran, il n'est pas judicieux de prévoir une valorisation thermique de la chaleur produite sur le site.

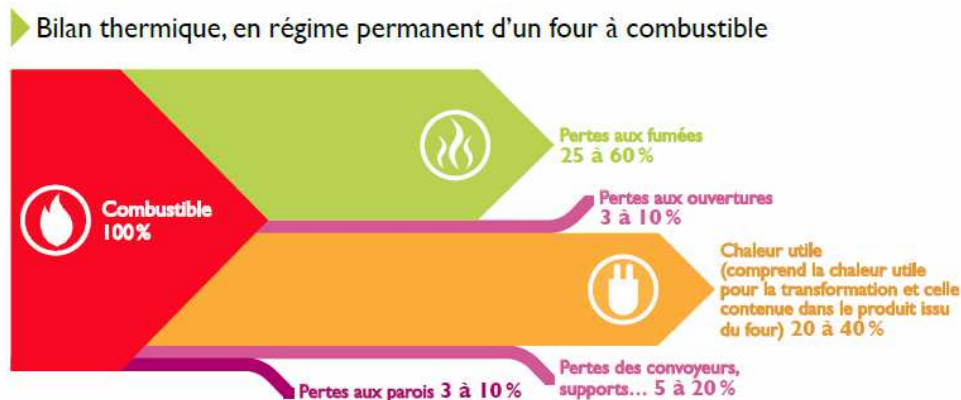
VI.5. LA CHALEUR FATALE

VI.5.1 Définition

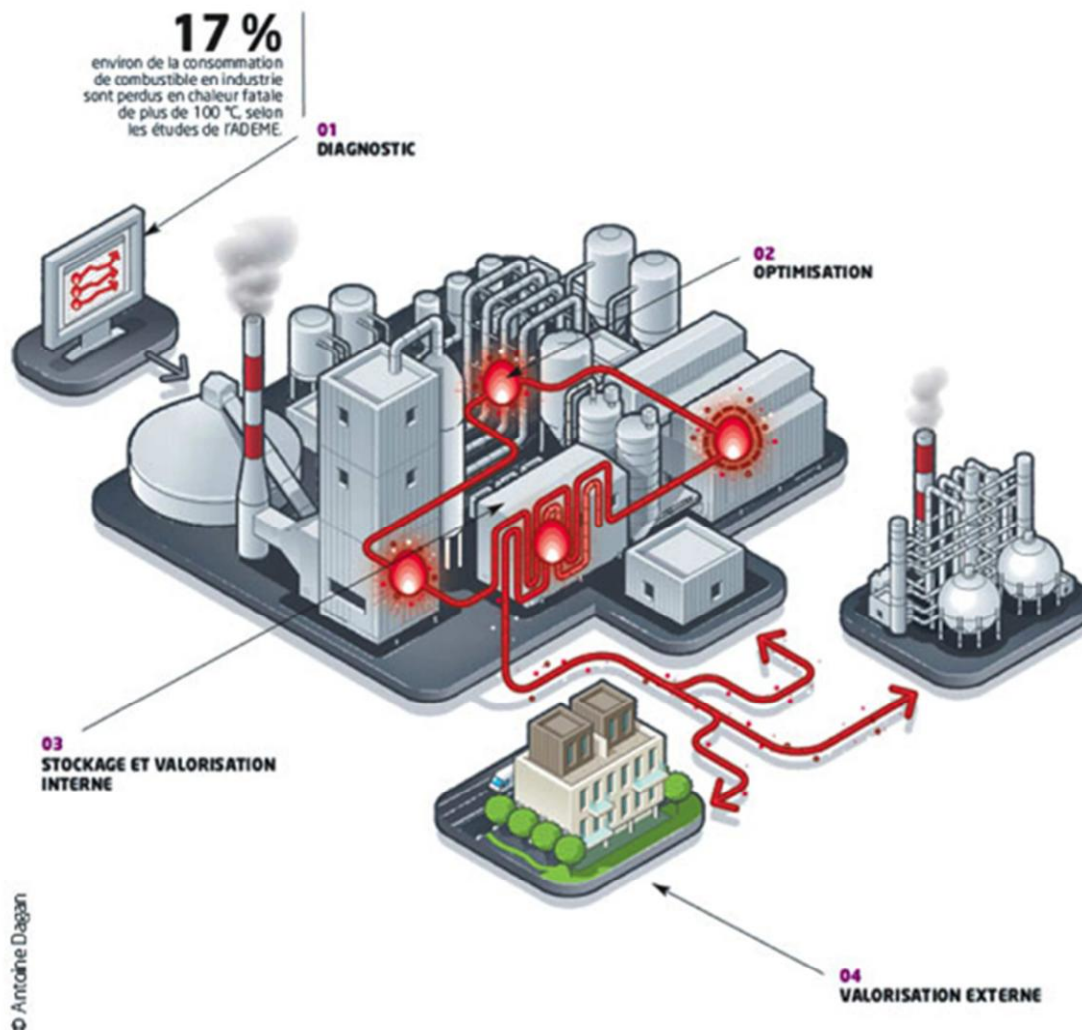
La chaleur fatale ou la chaleur de récupération, c'est la chaleur générée par un procédé qui n'en constitue pas la finalité première, et qui n'est pas récupérée.

Elle est générée lors du fonctionnement d'un procédé. Par exemple, lors du fonctionnement d'un four, seulement 20 à 40 % de l'énergie du combustible utilisé constitue de la chaleur utile, soit 60 à 80 % de chaleur fatale potentiellement récupérable.

Bilan thermique en régime permanent d'un four à combustible :



Source : guide la chaleur fatale de l'Ademe



Source : isolys.com

VI.5.2 Possibilités à l'échelle de la ZAC

Le site de la ZAC ne dispose pas d'industrie à proximité, cette solution n'est pas envisageable.

VI.6. LA FILIERE BIOGAZ – METHANISATION

VI.6.1 Définition

Le biogaz est un gaz produit par la fermentation des matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène. D'origine renouvelable, *le biogaz* est riche en méthane et peut être valorisé sous forme de chaleur (chaudière) ou sous forme d'électricité et de chaleur (par la cogénération).

Le biogaz est un gaz composé en moyenne de 65% de méthane (CH_4) et de 35% de dioxyde de carbone (CO_2). Le biogaz est une source d'énergie renouvelable issue de la biomasse car la quantité de dioxyde de carbone (CO_2) dégagée lors de la combustion du biogaz est exactement la même que celle qui a été nécessaire à la croissance de la plante. Ainsi, le bilan carbone du biogaz formé par digestion anaérobie est donc totalement neutre en CO_2 . A l'inverse, la combustion des énergies fossiles comme le pétrole ou le gaz naturel entraîne un dégagement supplémentaire de carbone dans l'atmosphère étant donné que le carbone rejeté était emprisonné depuis des millénaires dans les couches géologiques de la Terre.

Selon sa composition, le biogaz présente des caractéristiques qu'il est intéressant de comparer au gaz naturel et au propane. Le biogaz est un gaz sensiblement plus léger que l'air, il produit deux fois moins de calories par combustion à volume égal que le gaz naturel.

Les ressources en biogaz dans le monde, selon une étude de l'ADEME s'élèvent à 750 Mtep/an si tous les déchets étaient méthanisés en décharge ou réacteurs – valeur à laquelle il faut rajouter les sous-produits agricoles d'une valeur de 1000 Mtep/an. Au total, le biogaz représente un gisement comparable à la consommation mondiale de gaz naturel fossile – 1800 Mtep/an.

Principales technologies de méthanisation :

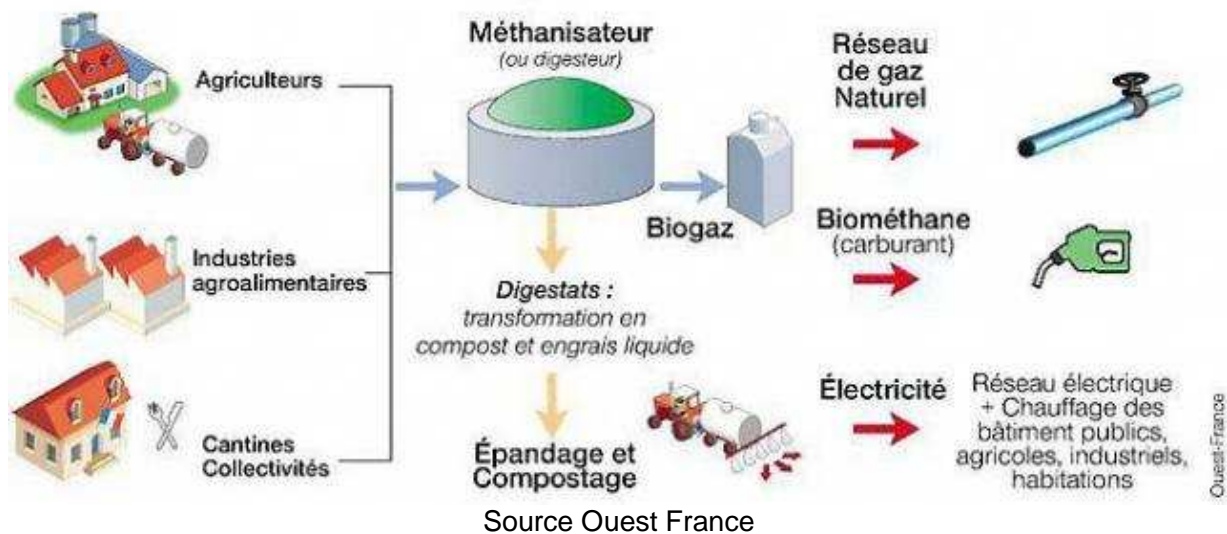
Technologie de méthanisation « Voie sèche »

- Méthanisation de sous-produits d'élevage, de déchets verts et de biodéchets.
- Alimentation du méthaniseur en continue ou discontinue.
- Ce type de procédé permet d'atteindre des charges organiques plus importantes que les procédés en voie humide.
- Température de fonctionnement : 37°C (Mésophile) ou 55°C (Thermophile).
- Le mélange de la matière organique peut être effectué par percolation ou au moyen d'un système d'agitation.

Technologie de méthanisation « Réacteur parfaitement mélangé »

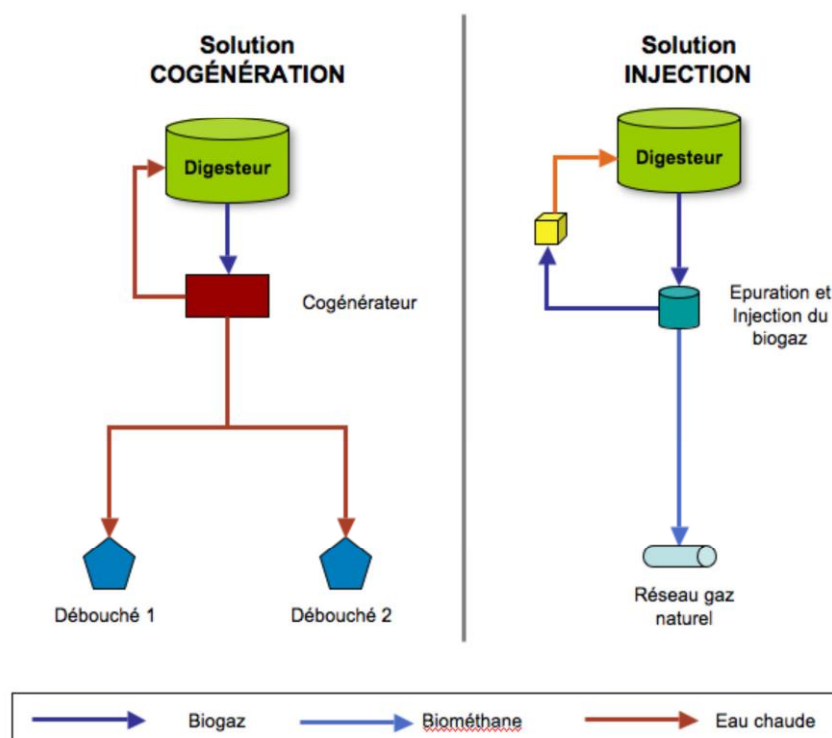
- Méthanisation des sous-produits industriels et effluents d'élevage en réacteur extensif
- Le digesteur est une cuve en acier ou en béton qui peut être enterrée ou non. Elle est close hermétiquement, chauffée à 40 degrés pour que la digestion anaérobie (méthanisation) se fasse en conditions optimales
- Le mélange à l'intérieur de la cuve est maintenu homogène grâce à un brassage qui a plusieurs fonctions : éviter la formation de la croûte en surface, éviter la sédimentation des matières, faciliter le dégazage.

Méthanisation : du déchet à l'énergie



Valorisation du méthane

Variantes de valorisation du biogaz

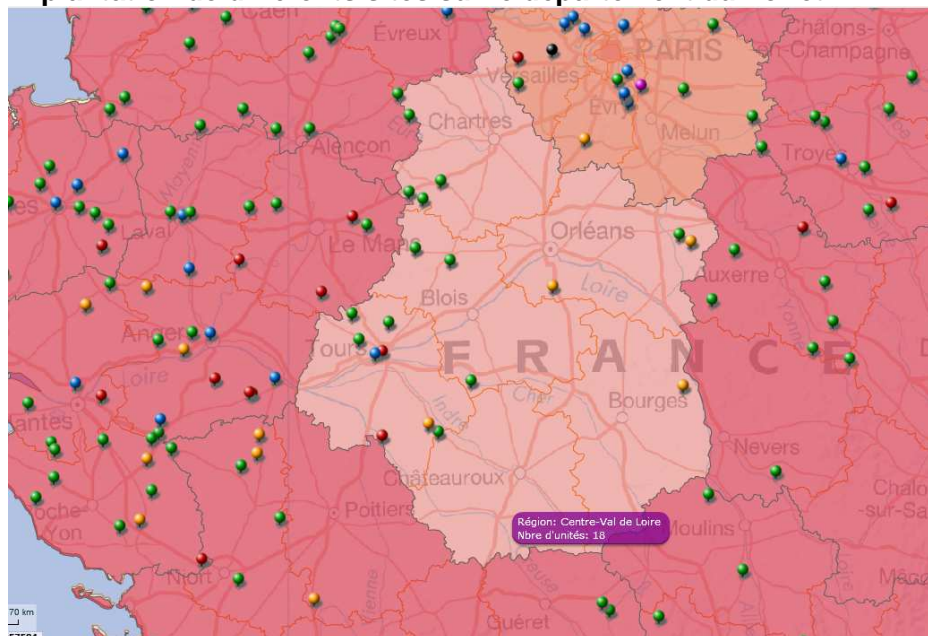


Source : Naskéo

VI.6.2 Contexte local et enjeu de la filière

Le Loiret disposerait selon la chambre d'agriculture de 3,2 millions de tonnes de ressources méthanisables, d'après les données utilisées pour réaliser la cartographie de ce type de ressources en région Centre. Il s'agit d'un potentiel important en matière d'énergie verte.

Implantation de différents sites sur le département du Loiret



Source : <http://carto.sinoe.org/carto/methanisation/flash/>

Un projet d'usine de méthanisation dans le parc Orléans-Charbonnière

Exemples de projet de méthanisation dans le Loiret :

Sologne Biogaz La Ferté Saint-Aubin (45)

L'unité valorise le biogaz par cogénération. L'électricité est revendue à EDF et la chaleur renouvelable est distribuée au Centre Aquatique de la Communauté de Commune située à proximité. Dans le cas de cette unité de méthanisation, le fumier équin constitue plus de 60% des volumes traités grâce à des partenariats durables avec les centres équestres locaux. Le reste des substrats traités provient des exploitations agricoles locales (20%) et des déchets de légumes (20%). L'apport de ces substrats est également possible grâce à des contrats durables entre SOLOGNE BIOGAZ et ses fournisseurs.

Valorisation du biogaz : cogénération

Electricité Produite: 6000 MWh/an soit environ 2500 foyers

Utilisation de la chaleur : chauffage du centre aquatique

Bilan CO2 : - 1 315 tonnes/an

Substrats traités : 18 000 tonnes/an

Gâtinais Biogaz de Châteaurenard

Dans le Loiret, Gâtinais Biogaz produit de l'électricité avec une unité montée par 11 exploitations des environs de Châteaurenard, dont le but est également de chauffer le collège

L'installation valorise environ 23 000 tonnes de déchets collectés à une distance maximum de 10 km pour 70 % : 12700 t d'origine agricole, 6000 t provenant des collectivités locales et 4500 t d'industrie agro-alimentaire.

Le moteur devrait avoir une puissance de 600 kWélec, et produire 9926 MWh par an, dont 4320 MW/an d'électricité et 5606 MW/an de chaleur.- Le projet produira en énergie renouvelable l'équivalent de la consommation d'environ 1500 habitants, réalisant une économie de 1 000 000 litres de fuel par an. (calcul fait sur la base d'une consommation moyenne énergétique pour 1 foyer de 5 personnes de 33 MWh/an)- Le projet produira une matière fertilisante qui évitera l'épandage sur le canton de Château-Renard d'environ 60 tonnes d'azote pur représentant 180 tonnes d'engrais chimique.- Le projet évitera le rejet dans l'atmosphère d'environ 1700 tonnes équivalent CO₂, soit la pollution d'environ 800 véhicules de tourisme.

l'unité de méthanisation du Gaec Beets à la ferme de Saint-Germain-des-Prés

Mise en service : 2008

Puissance : 150 kW

Matières premières entrantes : 11.000 t de déchets dont 1.900 t de fumier bovins, 4.400 m³ de lisier bovins, 1.825 m³ de lisier de porcs, 350 t d'issues de céréales, 350 t d'ensilage de sorgho, 350 t de déchets solides agro-industriels et 1.450 m³ de déchets liquides agro-industriels

Valorisation de la chaleur : chauffage de deux maisons, d'une piscine, du bureau du Gaec, du bâtiment post-sevrage des porcs, séchage de sciures

Retour au sol du digestat après séparation de phase

Economie de CO₂ : 3.410 t

Tarif de rachat (2006) : 13,54 c€/kWh

Recette électrique : 171.000 €/an

Retour sur investissement : 8,9 ans.

l'unité de méthanisation de Teréos d'Artenay

L'unité de méthanisation de la sucrerie Tereos d'Artenay est entrée en fonctionnement au début de l'année. Un investissement de 6.700.000 EUR.

Objectif : traiter la totalité des vinasses du site, soit 300.000 tonnes par an, et assurer 50 % des besoins en gaz de la distillerie.

À la clé : une réduction des émissions de CO₂ de 12.500 tonnes par an.

Le potentiel du Loiret est important avec la présence du secteur agro-alimentaire ou encore le Giennois.

Notons enfin que le digestat, produit issu de la méthanisation peut ensuite être utilisé comme engrais.

VI.6.3 Potentiel de gisement dans l'Orléanais

Déchets de l'industrie agro-alimentaire :

Plusieurs grandes sociétés sont situées à proximité du Val d'Ouest.

Société	Lieu	Activités
Masterfood	St Denis de l'hôtel	Pet food
Cargill Meats	ZAC la saussaye	Transformation viande
MC key food Service	Fleury les aubrais	Viande hachée
Fram foods	Saran	Blinis et tarama
Orleans viande tradival	Fleury les aubrais	Découpe viandes
Laiterie st denis de l'hotel	St Denis de l'hôtel	laiterie
Coop distillerie arthenay	Arthenay	sucres

Source www.orleans-valdeloire-business.com

Un projet de création d'un méthaniseur sur la zone d'activité d'Orléans la Charbonnière risque de baisser les ressources locales d'origine agricole et industrielles.

Eaux usées :

Les eaux usées de la métropole orléanaise sont traitées dans six stations de traitement, dont l'exploitation et l'entretien sont assurés par les services d'Orléans Métropole :

- LA CHAPELLE SAINT MESMIN** La plus grande, avec une capacité de 400 000 Equivalents/habitants (EH),
- LA SOURCE** Située sur le territoire de Saint Cyr en Val, avec une capacité de 90 000 EH,
- CHANTEAU LE BERCEAU** Capacité de 444 EH
- L'ILE ARRAULT** Située sur le territoire de Saint Pryvé Saint Mesmin, dont la capacité est de 95 000 EH ;
- CHÉCY** Capacité de 25 000 EH
- CHANTEAU LA TREILLE** Capacité de 1 500 EH

Potentiel de méthanisation :

Le potentiel des boues de station d'épuration est intéressant : 250 Nm3 méthane/tonne de matière organique.

En ce qui concerne les boues de station de traitement des eaux usées domestiques, la digestion est encadrée :

- par la loi sur l'eau (rubrique 2110) si la digestion concerne seulement des boues issues de l'épuration ;
- par la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) (rubrique 2781) si une co-digestion est mise en œuvre.

La rentabilité d'une telle filière se situe principalement dans les économies réalisées en diminuant les quantités de boues à évacuer. A cela peut s'ajouter les économies réalisées en utilisant le biogaz comme source de chaleur pour le chauffage des bâtiments d'exploitation, ou le séchage des boues. Les éventuels gains associés à la valorisation du biogaz par cogénération peuvent également améliorer la rentabilité de l'installation.

Sur le Val d'Ouest il n'y a pas de station d'épuration. La possibilité de mettre en place un méthaniseur ne semble pas opportun. En effet, un projet de méthanisation sur une zone à vocation de logement n'est pas acceptable du point de vue des risques et nuisances potentielles (explosion, odeur, camions...).

VI.7. LA FILIERE GEOTHERMIE TRES BASSE TEMPERATURE

VI.7.1 Définition

La géothermie très basse énergie est définie par l'exploitation d'une ressource présentant une température inférieure à 30°C, qui ne permet pas, dans la plupart des cas, une utilisation directe de la chaleur par simple échange.

Elle nécessite donc la mise en œuvre de pompes à chaleur qui prélèvent cette énergie à basse température pour l'amener à une température suffisante pour le chauffage d'habitations par exemple.

Cette opération requiert un peu d'énergie électrique et l'utilisation d'un fluide frigorigène dont le changement d'état (vapeur ou liquide) permet de transférer les calories captées dans le sous-sol vers les logements. Ainsi, une pompe à chaleur qui assure 100% des besoins de chauffage d'un logement consomme seulement 30% d'énergie électrique, les 70% restants étant puisés dans le milieu naturel.

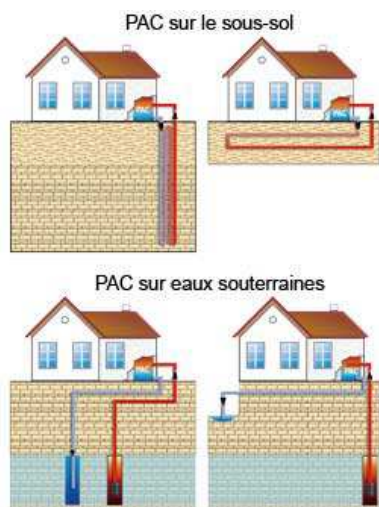
La géothermie très basse énergie concerne l'exploitation de deux types de ressources : l'énergie naturellement présente dans le sous-sol à quelques dizaines – voire des centaines – de mètres et dans les aquifères qui s'y trouvent.

En France, la température moyenne au niveau du sol est en général de 10 à 14°C et au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans le sous-sol, celle-ci augmente en moyenne de 4°C tous les 100 m (gradient géothermal).

La chaleur emmagasinée dans le sol est accessible en tout point du territoire. Les techniques de capture de cette énergie seront adaptées en fonction des besoins thermiques et des types de terrains rencontrés.

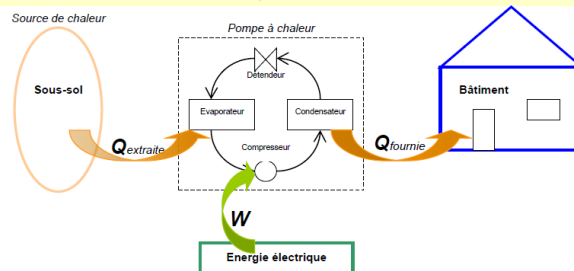
Les aquifères superficiels sont largement répandus sur l'ensemble du territoire. Il s'agit soit de nappes alluviales qui accompagnent les cours d'eau, soit d'aquifères présents à différentes profondeurs dans les bassins sédimentaires et dans les régions de socle qui peuvent présenter en surface une zone altérée qui contient de l'eau (Bretagne, Massif central).

Le concept de géothermie très basse énergie recouvre des applications qui vont du chauffage de maisons individuelles jusqu'au chauffage par réseau de chaleur. Ce type de géothermie se montre particulièrement adapté au chauffage de logements collectifs ou de locaux du secteur tertiaire (hôpitaux, administration, centres commerciaux...).



Pompes à chaleur - ASPECTS TECHNIQUES

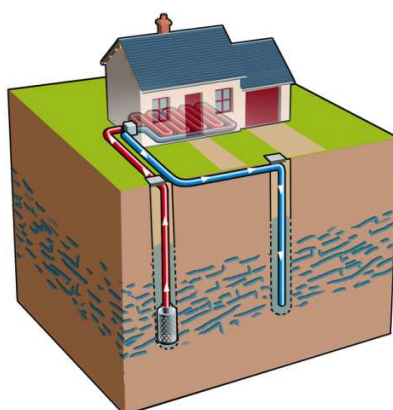
Principe : une **pompe à chaleur géothermique** permet de prélever la chaleur du sous-sol ou d'une nappe d'eau souterraine et de la transférer pour chauffer des bâtiments.



$Q_{fournie}/W$ = coefficient de performance (COP)

Valeurs de COP : classiquement 3 mais évoluent vers 4 ou 5.

source : www.geothermie-perspectives.fr

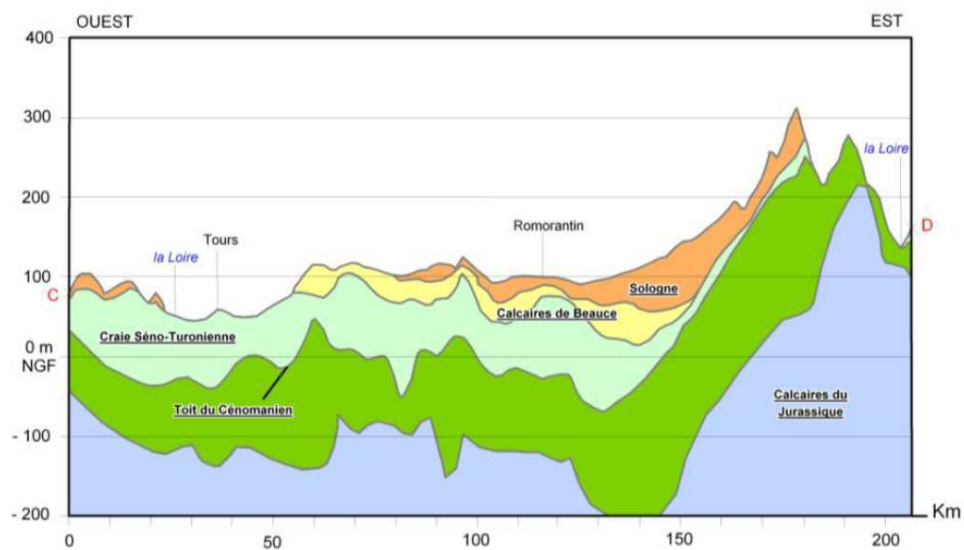


Principe de fonctionnement en doublet de forage (www.geothermie-perspectives.fr)

VI.7.2 Contexte local et enjeu

- Spécificité de la géothermie en région Centre

Les couches géologiques sédimentaires du Bassin parisien y forment un empilement plus ou moins régulier, appuyé sur le socle cristallin du Massif Central. Elles dessinent des arcs successifs composés de formations géologiques de nature différente - grès du Trias, calcaires du Jurassique, sables et craie du Crétacé, calcaires de Beauce - constituant autant de réservoirs aquifères sièges de la ressource géothermale de la région Centre : les coupes géologiques ci-contre en schématisent la répartition (axes horizontaux en km, axes verticaux en m).



Source : journée de la géothermie en Région Centre

Ce contexte géologique et hydrogéologique offre un important potentiel pour les exploitations en géothermie très basse énergie, aussi bien via les eaux souterraines (pompes à chaleur alimentées par forages d'eau) que via les terrains (sondes géothermiques verticales) :

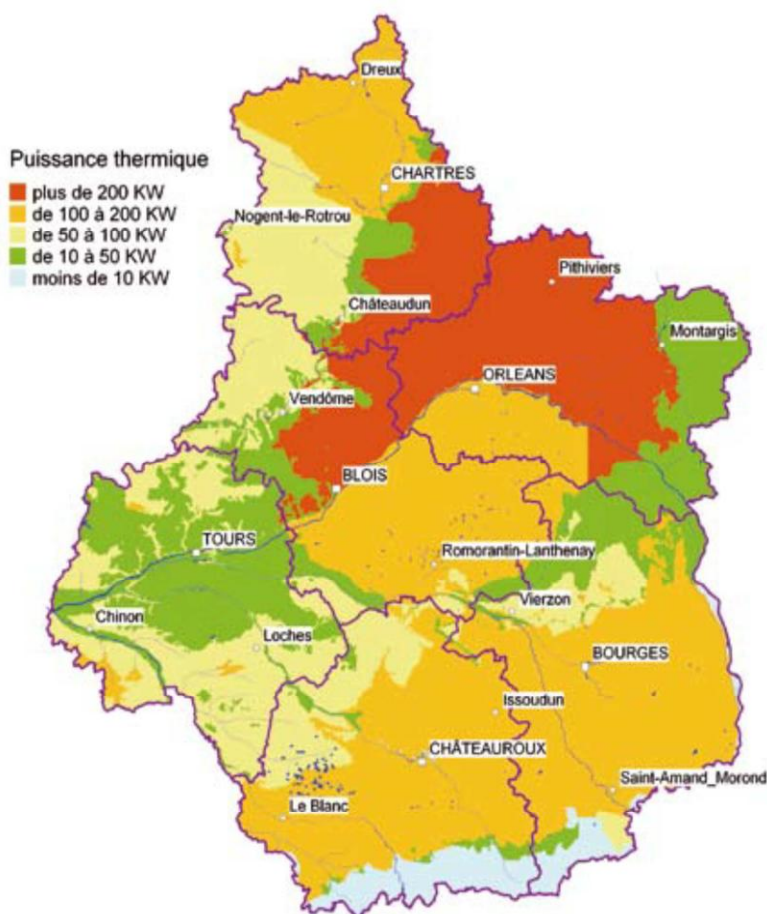
- Via des forages d'eau :

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, permettant des opérations géothermiques adaptées à du pavillon. Seulement 9 % du territoire ne se prêtent pas à la géothermie sur nappe.

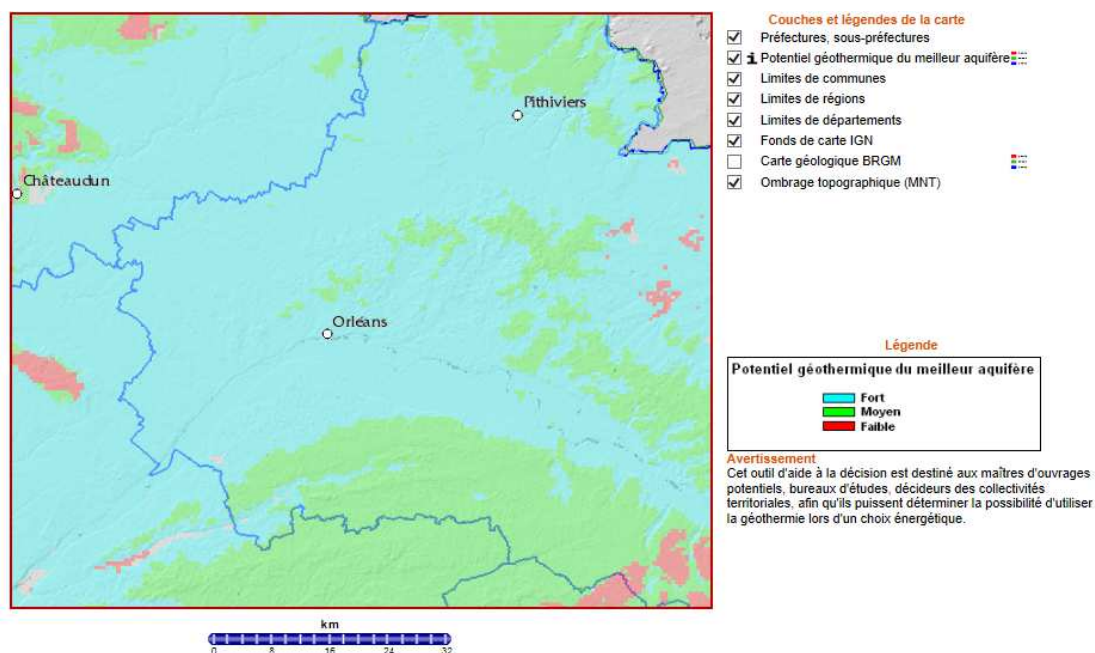
L'Atlas des ressources géothermales des aquifères superficielles en région Centre est un outil d'aide à la décision élaboré par le BRGM pour l'ADEME, EDF et le Conseil Régional Centre orientant les professionnels sur le potentiel géothermique très basse énergie de ces aquifères.

Carte des potentiels thermiques des nappes en région Centre :

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.



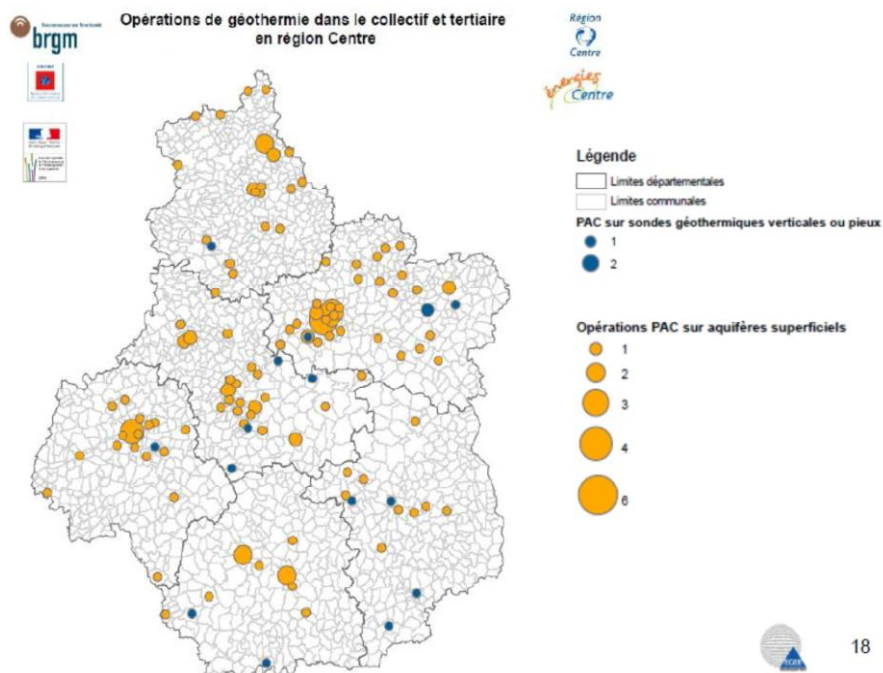
Extrait de

Source : Atlas géothermique de la Région Centre

- Via des capteurs verticaux :

La quasi-totalité du territoire de la région Centre permet l'exploitation par capteurs verticaux. Pour une même profondeur de forage, la productivité varie principalement en fonction de la nature des terrains (couches géologiques) et de leur caractère aquifère (terrain saturé en eau ; perméabilité).

- Opérations de géothermie dans le collectif et le tertiaire en Région Centre.



Source : journée de la géothermie en Région Centre

Dépt	LOCALISATION	OPERATION	Nappe	Plan d'eau	Sondes	Pieux énergétiques	Capteur horizontal	Tertiaire-Bureaux	Habitat collectif	Enseignement	Santé	Sports & Loisirs - Culture	Agriculture	Industrie	Habitat Non collectif	Neuf	Réhabilitation
18	VIERZON	Vestiaires du stade Chaillot														x	
28	SAINT REMY SUR AVRE	Centre culturel														x	x
36	CHATEAUROUX	Reseau chauffage collectif															
	EGUZON CHANTOME	Village de vacances VVF														x	
	EGUZON CHANTOME	Centre socio-culturel															x
	FONTGOMBAULT	Centre de loisirs															
37	AVRILLE	Manoir & logis de chasse															
	TOURS	Centre de maintenance du TRAM															
41	BLOIS	Centre culturel "Halle aux grains"															
	CELLETES	Serres horticoles															
	SOUDAY	Habitation individuelle															
	VILLEBAROU	Structure enfance														x	
45	DADONVILLE																
	GUILLY	Restaurant scolaire															x
	NESPLOY	Maison Accueil Rurale Personnes Agées														x	
	ORLEANS	Centre Sciences														x	
	ORLEANS	Centre hospitalier														x	
	SEMOY	Bibliothèque														x	x

VI.7.3 Etude d'opportunité à l'échelle de la ZAC

Hypothèses de travail retenu :

Nous étudierons la possibilité d'implanter une chaufferie sur PAC géothermique sur doublet de forage pour la zone d'aménagement du Val d'Ouest (scénario 1 et scénario2 cf VI.1.4). Le complément de chaleur sera apporté par une chaufferie gaz naturel. Cette chaufferie alimentera un réseau de chaleur sur la ZAC du Val d'Ouest d'Orléans et permettra d'alimenter en chaleur l'ensemble des logements et autres usagers.

Description :

Un doublet de forage est à prévoir pour alimenter en eau la pompe à chaleur eau/eau. Un forage d'extraction et un forage de rejet sont nécessaires pour le fonctionnement du projet. Au vue du potentiel local, un débit de 150 m³/h sur le forage sera retenu.

Compte tenu de ces hypothèses de travail, la puissance de la chaufferie gaz en complément sera de :

	Puissance chaufferie PAC en kW thermique	Puissance chaufferie gaz en kW thermique
Scénario 1	1087	1950 kW
Scénario 2	1087	9000 kW

Rappel des besoins de chaleur et de la densité thermique

Distance réseau à créer	SC1	SC2
ml	4696	5046
kW	1956,5	9156,5
MWh/an	2515,5	17631
densité énergétique MWh/ml	0,54	3,49

hypothèses de travail	
COP chaud	5
delta T = - 5°C hiver	5
Débit hiver (m3/h)	150
Puissance captage kw	870
puissance thermique	1087,5

$$\text{COP} = \text{coefficient de performance} = \frac{\text{Puissance totale disponible}}{\text{Puissance électrique consommée}}$$

Delta T = différence de température de l'eau entre le pompage et la réinjection, par exemple pour une eau à 12°C de nappe, rejet à +7°C, le delta T=-5°C.

Analyse de rentabilité du projet de réseau de chaleur

Hypothèses de travail :

Le projet de chaleur urbain sera de faire circuler de l'eau chaude dans un réseau primaire enterré isolé avec une température de l'ordre de 60°C. Le retour de chaleur sera lui aussi fixé suivant les besoins des usagers à 35-40°C

Il est possible d'estimer la puissance du réseau de chaleur avec une puissance de chaufferie de l'ordre de **2 MW pour le scénario de base et de 9 MW pour le scénario englobant les serres**. Nous considérerons que les besoins de puissance pour la production d'eau chaude sanitaire seront faibles. Cette hypothèse permet de ne pas sur-dimensionner la chaufferie **géothermique**.

Pour le scénario 1 : PAC géothermique 1 MW + chaudière gaz de 2 MW (appoint secours)

Pour le scénario 2 : PAC géothermique 1 MW +chaudières gaz de 9 MW (appoint secours)

Le prix moyen de l'électricité retenu sera de 110 €/MWh. Pour le gaz, nous retiendrons un prix moyen de 45 à 50 €/MWh.

Estimation du chiffrage de l'opération : (chiffrage à préciser lors d'une étude de faisabilité technico-économique)

Coût en € HT	Pompe de forage et de circulation réseau	forage	réseau	coût chaufferie appoint	coût pac eau/eau	coût total
Chaufferie biomasse SC1	40 000	90 000	2 113 043	2 40 000	150 000	2 633 043
Chaufferie biomasse SC2	40 000	90 000	2 270 543	505 000	150 000	3 055 543

Estimation des coûts d'exploitation :

	sc1	sc2	sc1 (aides)*	sc2 (aides)*
P1	79 993	812 789	79 993	812 789
P2	25 000	50 000	25 000	50 000
P3	25 000	40 000	25 000	40 000
P4	94 268	112 768	71 838	88 763
€/an	224 261	1 015 557	201 831	991 552
€ HT/MWh	89	58	80	56

*Taux d'aide de l'ordre de 30%

P1 : coût de l'énergie

Contrat P2

- Maintenance préventive des installations.
Option: interventions de dépannage incluses, hors pièces.

Contrat P3

- Prise en charge de l'ensemble de l'installation.
Garantie totale des équipements pris en compte.
- Option: possibilité de garantir les économies d'énergie Gaz contractuelles par contrat d'assurance.

Contrat P4

- Financement du remplacement de gros matériels, lissé sur toute la durée d'investissement ou contrat (durée de 20 ans)

Commentaires :

Nous constatons que le prix de revient du MWh de chaleur est très important, et ne permettrait pas la viabilité économique du projet sur la ZAC seule. Toutefois, avec la possibilité de raccorder à proximité de gros consommateurs d'énergie comme les serres, le couplage énergétique gaz + géothermie semble intéressant.

En effet, le prix de revient serait de l'ordre de 58 € HT/MWh pour le scénario 2. Ce tarif pourrait être accepté par les usagers. Il dépendra beaucoup du cours du gaz naturel à cette période.

Bien évidemment, il faudra prévoir une étude de faisabilité permettant de vérifier la possibilité technico-économique de l'opération.

VI.7.4 Infrastructure et mode de gestion

Installation domaine public et privé (phasage, surcoût éventuel) :

Le réseau d'eau à créer (boucle d'eau) sera sur le domaine public. La possibilité de poser les canalisations du réseau durant les phases de création des routes semble opportune pour la réduction des coûts.

Conséquence sur le foncier : faible perte de surface commercialisable

Durée de vie : 40 à 50 ans suivant le type de matériau utilisé pour la boucle d'eau

Aides financières : possibilité d'aide pour le réseau de chaleur (Ademe) -40% du surcoût du projet par rapport à un projet de référence.

Nuisances : aucune

Cadre juridique avec mode de gestion :

Comme précédemment, une Régie est possible, ou une délégation de service public.

VI.7.5 Point particulier captage chaleur sur eaux usées

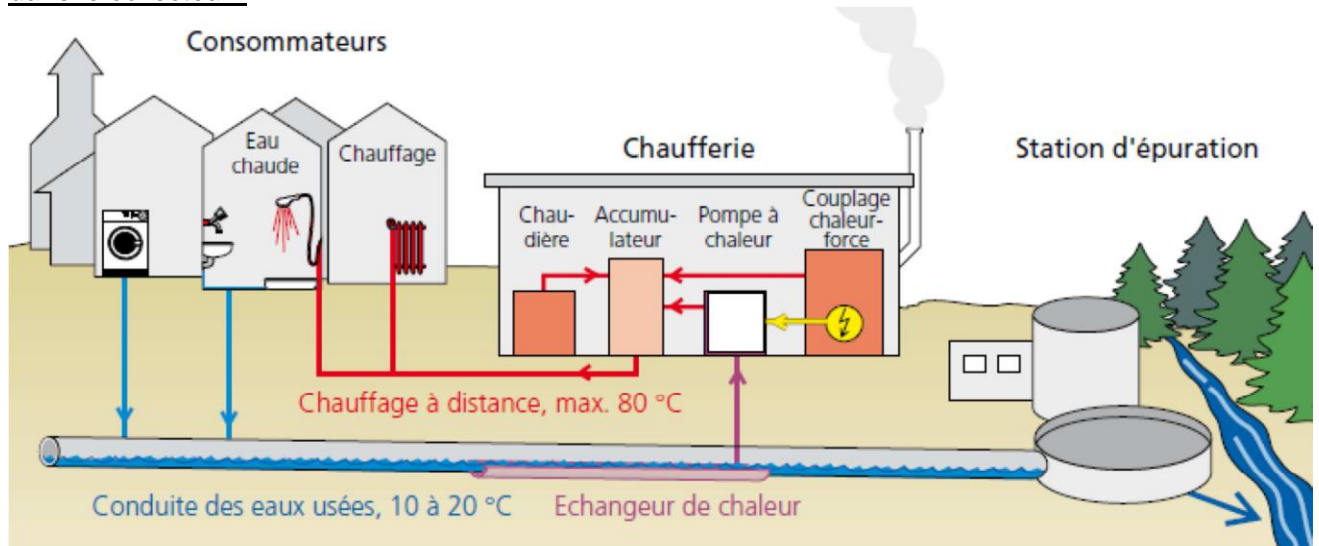
L'énergie thermique des eaux usées peut servir à alimenter les systèmes de préchauffage ou de chauffage existants via une pompe à chaleur, par le biais d'un échangeur de chaleur. Un fluide caloporteur circule dans des échangeurs mis en contact avec les eaux usées, capte les calories et les transfère vers une PAC alimentant le réseau de chauffage d'un bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments.

L'échangeur de chaleur est placé à proximité du collecteur.

Pour rester dans des conditions énergétiques, économiques et environnementales viables, un échangeur provoquant un abaissement de la température de 5°C est choisi.

Cette technique est en général adoptée en présence de collecteurs de large diamètre ($\varnothing \geq 800$ mm). Des conditions limites sont à respecter : en principe la température des eaux usées ne doit pas descendre en dessous de 10°C en entrée de station d'épuration.

Schéma de principe d'installation de chauffage avec récupération de chaleur sur eaux usées dans le collecteur :

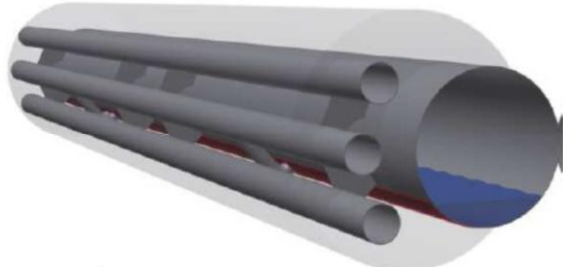


Source : SuisseEnergie

Il serait judicieux de placer une partie des canalisations existantes par des collecteurs-échangeurs de type Kasag Gravitytube.



Source : Kasag Langnau AG



La chaleur des eaux usées est transmise à un réseau de tubes situé à l'extérieur du collecteur. Pour un collecteur de 400 mm, la capacité de récupération est de 1 kW/m pour des eaux usées à 13°C.

Or avec 559 logements nous avons estimé le nombre d'habitants à 1398 (2.5 habitants/logement). Or un habitant rejette en moyenne 120 l/j d'eau usée en direction d'une station d'épuration.

Au total la zone rejettera environ 167 m³/jour. Avec une baisse de la température de l'eau usée de 5°C, la quantité d'énergie récupérable théorique serait de l'ordre de 970 kWh/jour.

Toutefois, il semble difficile de poser des collecteurs dans toute la zone, seule une partie de cette énergie sera véritablement récupérée.

❑ **Dimensionnement des équipements**

Il s'agit d'un pré-dimensionnement qui devra être validé par une étude de faisabilité technico-économique.

Compte tenu du coût de pose des collecteurs échangeurs, nous nous limiterons à 50 m linéaire pour notre exemple de calcul.

La puissance calorifique disponible est de l'ordre 50 kW (=50 ml x 1kW/ml).
En supposant que les débits d'eaux usées se concentrent sur 3h par jour, il serait possible de récupérer environ 150 kWh/jour, soit près de 55 MWh/an.

Estimation de l'investissement nécessaire :

sonde à poser	75 000
PAC eau/eau de 65 kW	30 000
Chaufferie + hydraulique	50 000
main œuvre	15 000
réseau de chaleur (250 ml)	150 000
Total en € HT	320 000

La rentabilité de l'opération :

Investissement € HT	320 000
récupération de chaleur MWh	54,75
consommation électrique MWh	18,25
Prix du MWh elec €	120
P1	2 190
P2 et P3	3 500
P4 (10 ans)	32 000
P4 (20 ans)	16 000
Coût fonctionnement (10 ans)	37 690
Coût fonctionnement (20 ans)	21 690
prix moyen de la chaleur €/MWh (10 ans)	516
prix moyen de la chaleur €/MWh (20 ans)	297

Au vu des résultats, cette solution de récupération de calorie **n'est pas viable** économiquement.

VI.8. LA FILIERE SOLAIRE – ACTIF ET PASSIF

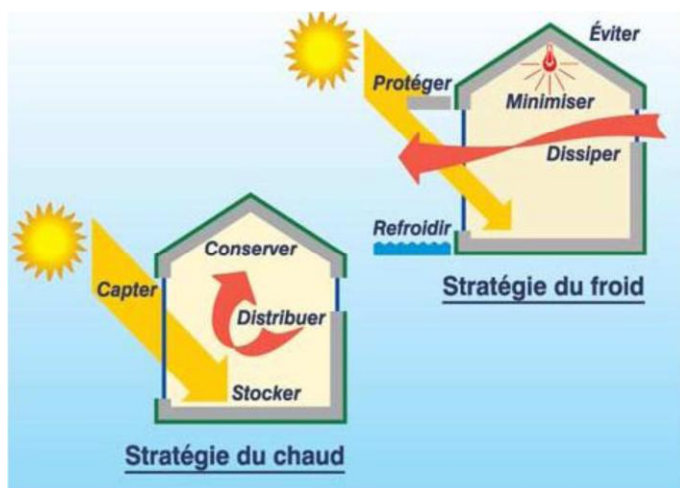
VI.8.1 Définition

- Solaire passif

L'énergie solaire est une énergie gratuite, non polluante, économique, facilement disponible, renouvelable, aisément transformable.

C'est l'énergie renouvelable la plus disponible sur Terre.

L'énergie solaire passive consiste à maximiser les apports solaires directs (sans passer par l'intermédiaire d'un système) et les conserver à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment.

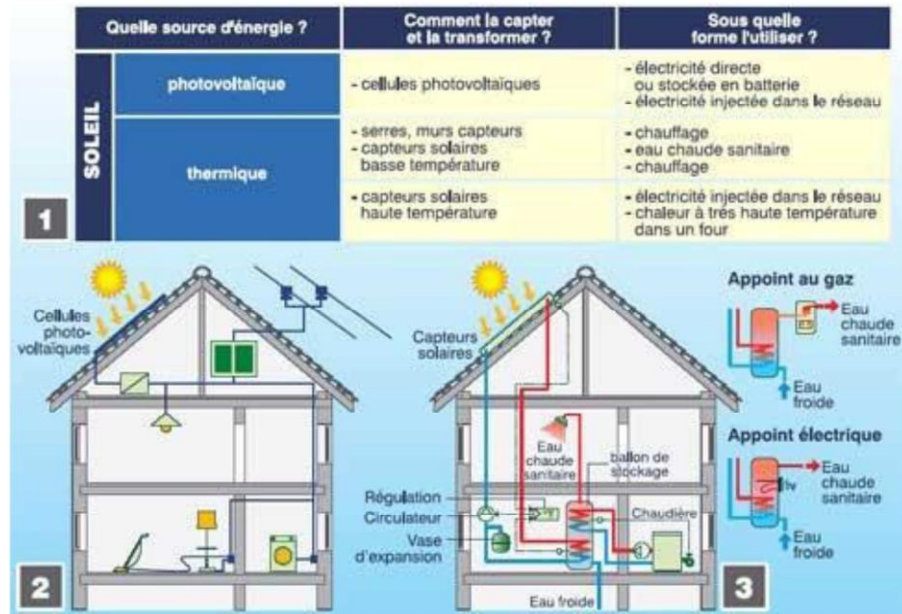


La conception solaire passive n'a de sens que si l'enveloppe du bâtiment est performante. Le bâtiment solaire passif doit donc être bien conçu du point de vue de la conservation de l'énergie, ce qui fait intervenir plusieurs paramètres :

- Le niveau d'isolation doit être garanti en tout point de l'enveloppe en évitant soigneusement les ponts thermiques
- L'enveloppe doit également garantir une étanchéité à l'air suffisante pour éviter les infiltrations inopportunes par grand froid ou par grand vent. Il faut veiller au contrôle du renouvellement d'air par un système de ventilation efficace et pérenne.
- L'orientation du bâtiment doit être choisie de manière à maximiser les apports solaires. Le sud est à cet égard la meilleure orientation : le soleil y est disponible toute la journée, toute l'année, et la variation de la hauteur solaire fait en sorte que les apports sont plus importants en hiver qu'en été, à l'inverse des orientations Est et Ouest. Le travail de la coupe vise à laisser le soleil pénétrer le plus profondément au cœur du bâtiment. Inversement, pour éviter la surchauffe, il convient de limiter la surface des baies vitrées orientées à l'Ouest, d'utiliser un ombrage structurel de la façade et de ventiler le bâtiment.
- Les bâtiments doivent être construits avec des matériaux ayant une bonne capacité pour stocker la chaleur et atténuer les fluctuations de température (inertie thermique). Ces masses à haute capacité thermique seront disposées de manière à recevoir directement le rayonnement solaire.

- Solaire actif

L'énergie solaire s'utilise pour produire de l'électricité via des cellules photovoltaïques, et de la chaleur via des capteurs solaires thermiques.



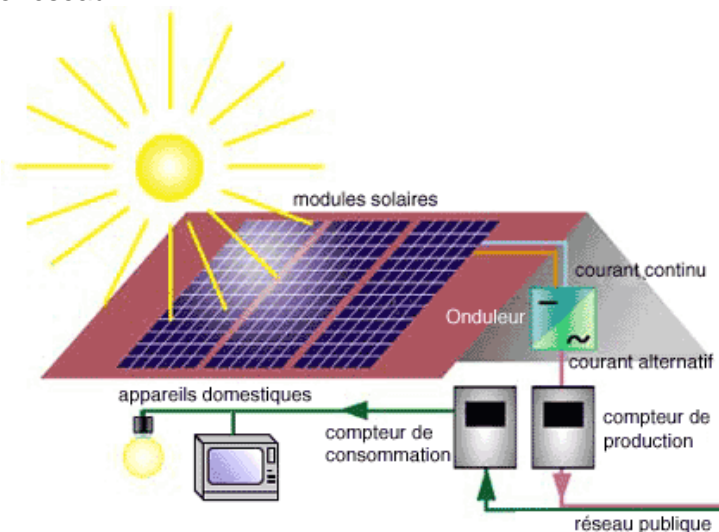
1 : Sources d'énergie solaire

2 : Fonctionnement d'un système photovoltaïque

3 : Fonctionnement d'un système thermique

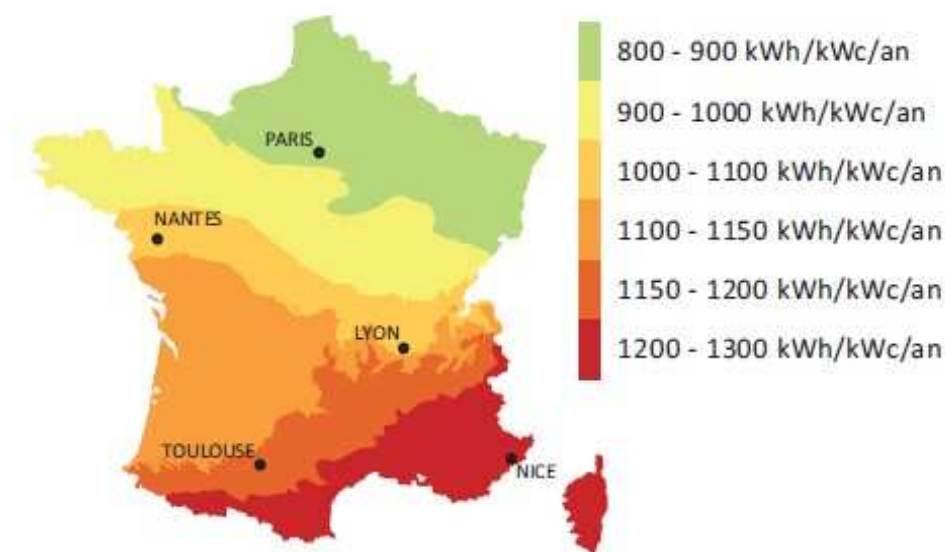
Le solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque permet la production d'électricité à partir de l'énergie solaire. Ceci permet de devenir producteur d'électricité et ainsi d'augmenter la part des énergies renouvelables sur le réseau.



De plus EDF s'engage à acheter l'électricité produite sur un contrat de 20 ans. Ainsi ce dispositif assure une pérennité à l'installation envisagée. Cependant, ce type de contrat est amené à évoluer tant sur la durée que sur le tarif d'achat.

La technique photovoltaïque consiste à produire de l'électricité à partir du rayonnement solaire qui chauffe un semi-conducteur (du silicium). Des modules, formés par ces cellules de silicium encapsulées pour les préserver de l'humidité et des chocs, sont assemblés sur une surface bien orientée. Un onduleur peut convertir le courant continu en courant alternatif (220 volts). Le système est relié au réseau électrique de distribution : il peut alimenter directement les appareils électriques ou être stocké en batteries. Le courant produit peut alimenter des sites isolés ou le réseau de distribution générale.



Production moyenne d'électricité par puissance crête installée par an

	Puissance en kWc	Tarifs en c€/kWh
Intégration au bâti (IAB)	0-9	23,19
Intégration simplifiée au bâti (ISB)	0-36	12,15
	36-100	11,54
Non intégré au bâti ou IAB/ISB >100 kWc	<12 000	5,36

Présentation des tarifs d'achat applicables du 01 avril 2017 au 30 juin 2017

Le solaire thermique

Les capteurs thermiques vitrés se comportent comme une serre : les rayons du soleil traversent un panneau de verre pour atteindre des absorbeurs métalliques, auxquels ils cèdent leur énergie. La chaleur est transmise à des tuyaux de cuivre, réchauffant le fluide qui y circule. Celui-ci est acheminé vers le ballon de stockage par des canalisations et, après avoir réchauffé l'eau sanitaire, le fluide retourne vers la source de chaleur afin de se "recharger" en énergie.

L'eau du ballon de stockage pourra être utilisée de jour comme de nuit. Bien que moins employés les capteurs thermiques peuvent aussi chauffer l'air.
 Les gains énergétiques peuvent avoisiner les 50% sur une année. Il faudra vérifier que les capteurs sont situés plein sud sans masque solaire important.
 Les masques solaires sont des ombres portées de l'environnement proche des capteurs. Ils réduisent les apports solaires incidents.

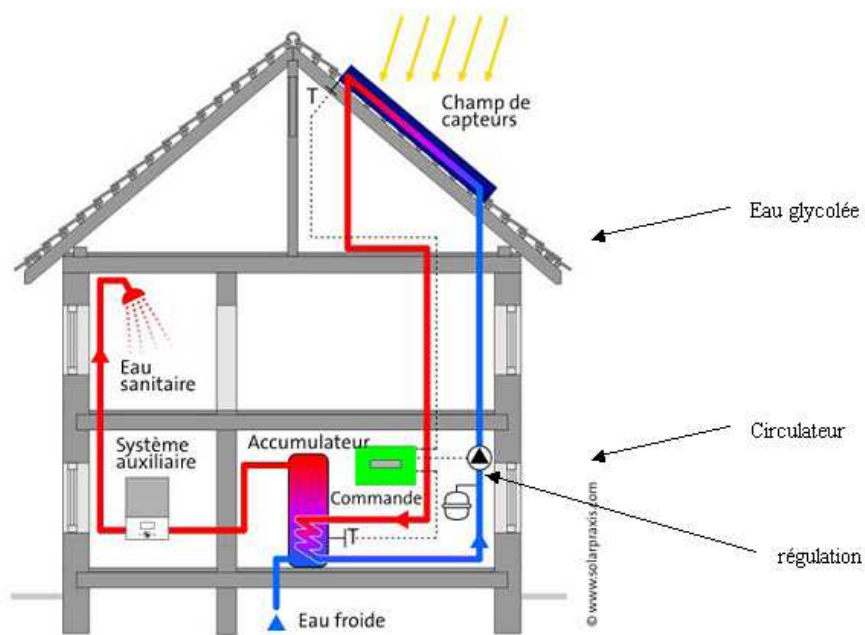
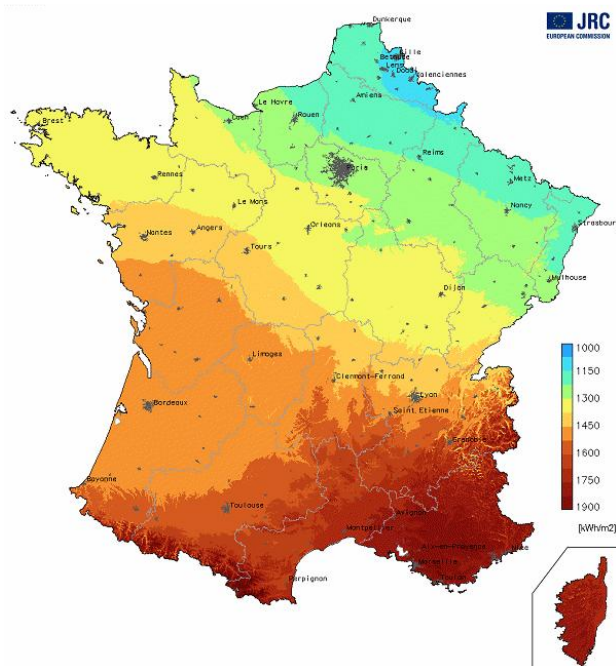


Schéma de principe



Carte ensoleillement de la France

VI.8.2 Etude d'opportunité à l'échelle de de la ZAC

Nous étudierons la possibilité d'installer des toitures photovoltaïques.

Production d'électricité par panneaux photovoltaïques.

L'installation de panneaux photovoltaïques en toiture de bâtiments est en plein développement. Les panneaux doivent s'intégrer au mieux dans le paysage. Leur productivité peut être optimisée par l'orientation et la forme du bâtiment. Cependant ces installations doivent répondre aux conditions d'urbanisme.

La procédure à suivre pour vendre de l'électricité photovoltaïque est relativement complexe. Elle se découpe en 4 phases plus ou moins parallèles à commencer une fois que l'installateur a été trouvé et qu'il a fourni les éléments techniques relatifs au projet :

1. Obtenir l'autorisation d'installer les capteurs photovoltaïques : demande de permis de construire à déposer à la mairie ;
2. Demander le raccordement technique au réseau ;
3. Demander le rachat de l'électricité à l'Agence EDF régionale ;
4. Rechercher des financements.

Surfaces disponibles prévisionnelles et hypothèses

En prenant comme hypothèse que sur la zone, 50% de la surface des toitures orientées au Sud ou Sud-Est ou Sud-Ouest est disponible pour la pose de capteurs photovoltaïques. ***Il sera retenu une surface moyenne par logement de 20 m².***

Hypothèses retenues :

Puissance crête par logement : 3 kWc soit 20 m²

Inclinaison des panneaux : horizontale,

Orientation du plan : sud

Site météo : Orléans

Type de panneaux : polycristallin

données	
surface disponible en m2	Sup 13 000
Surface envisagée en m2	11 180
puissance crête kWc	1677
Production MWh/an	1565
Equivalent foyer	626
tonne CO2 évité	139

La pose de 1677 kWc soit 11 180 m² de panneaux photovoltaïque permettrait de produire un équivalent électrique de l'ordre de **630 logements** par an.

Estimation de l'investissement moyen

Pour des surfaces moyennes de l'ordre de 20 m² par parcelle, il faut compter un investissement de l'ordre de 15 000 € TTC. Avec un tarif moyen actuel de vente de l'électricité de l'ordre de

23.19 c€/kWh, les revenus annuels espérés sont d'environ 650 €/an. Le temps de retour (actualisé) sur investissement pour 20 m² serait donc de 14 ans. On sait aujourd'hui que la durée de vie des panneaux actuels peut dépasser 35 ans.

VI.8.3 Infrastructure et mode de gestion

Installation domaine public et privé : les installations photovoltaïques seront sur le domaine privé. Toutefois, la création ou le renforcement du transformateur électrique sera à prévoir

Conséquence sur le foncier : faible

Durée de vie : 25-30 ans

Coûts : variable (2 à 5000 € du kWc)

Aides financières : aucune à ce jour

Nuisances : peu d'impact visuel

Vente de la production : contrat de vente à EDF sur une durée de 20 ans ou autre.

Points particuliers en zone inondable :

La pose des capteurs photovoltaïque sera à prévoir en toiture (au-dessus du niveau de la crue de référence). Il sera important de prévoir une installation électrique complète au-dessus du niveau de la crue. En effet, les onduleurs et autres électriques devront être placés au-dessus de ce niveau.

(Pour rappel, il est notamment prévu que les installations électriques doivent être placées au-dessus de la crue de référence). En cas de crue, le réseau EDF risque d'être coupé plusieurs jours. La production du parc solaire devra être aussi coupé pour raison de sécurité. La mise en place d'une coupure d'urgence DC au plus près des onduleurs et d'un dispositif de découplage automatique des onduleurs est à prévoir au-dessus du niveau de référence.

VI.9. L'EOLIEN

VI.9.1 Définition

Le système de l'éolienne exploite l'énergie cinétique du vent et la transforme en électricité. Généralement, une éolienne domestique est composée de trois éléments indispensables : un mât, une hélice et une nacelle.

Les installations des éoliennes diffèrent selon les besoins. Par exemple, pour les éoliennes destinées aux habitations isolées, une batterie doit être reliée au système pour permettre le stockage de l'énergie dégagée. Il faut donc prévoir une réserve d'électricité pour les jours où le vent sera moins favorable.

D'autres installations sont prévues pour les bâtiments qui sont déjà alimentées par un réseau de distribution. Ce type d'installation permet d'assurer les besoins de l'habitation et de vendre le surplus d'énergie dégagée par l'éolienne. Dans ce cas, l'installation d'une batterie n'est pas indispensable puisqu'en cas d'insuffisance du vent, l'électricité du réseau prend automatiquement le relais.

Certaines installations sont faites de manière à ce que toute l'énergie produite soit vendue. Dans ce cas, les besoins de l'habitation sont couverts par le réseau et tout le courant produit est vendu.

L'électricité peut représenter un poste extrêmement important pour une entreprise, soit par la quantité d'énergie requise, soit par la nécessité d'une alimentation ininterrompue.

A titre purement indicatif (dépendant des conditions du site d'implantation), une éolienne peut produire plusieurs dizaines de milliers de kWh par an. Ces kWh pourront être utilisés pour une multitude d'applications, notamment autonome. De plus, certaines applications nécessitent impérativement un approvisionnement énergétique constant et sans failles.

L'installation d'une éolienne représente un formidable vecteur de communication externe (identification, localisation) et permet d'associer son image aux valeurs du développement durable.

Les projets éoliens s'inscrivent dans le cadre des règles de l'urbanisme. Sous certaines conditions un permis de construire devra être demandé.

Côté réglementation, la limite est simple : dès que l'éolienne dépasse 12 mètres (taille à la hauteur du moyeu de la génératrice), l'installation doit être validée par l'obtention d'un permis de construire. Sous les 12 mètres, une simple déclaration de travaux suffit.

Les textes officiels du code de l'urbanisme peuvent être trouvés à cette adresse :

Permis de construire - article L 421-1-1 du code de l'urbanisme

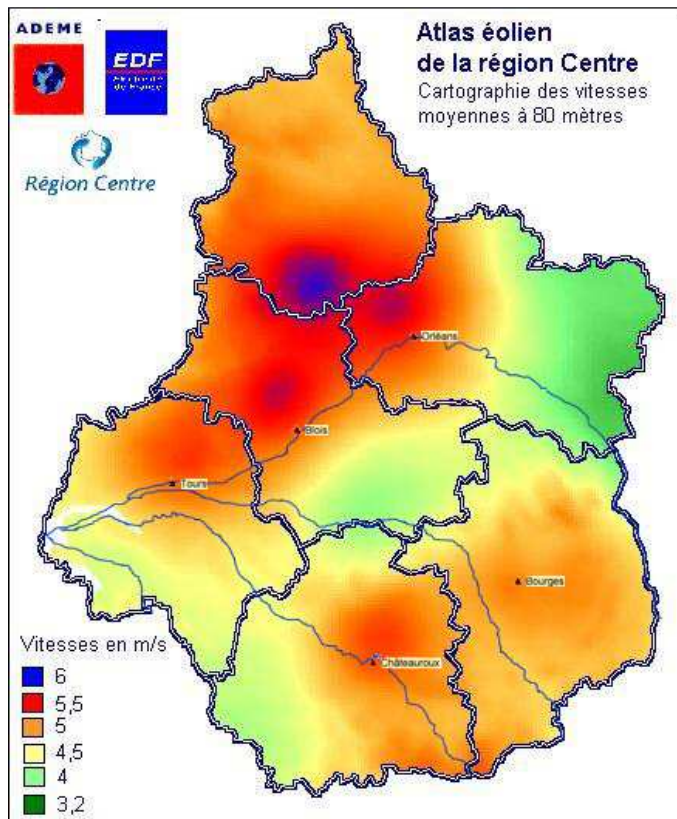
Déclaration de travaux - article L 421-2 du code de l'urbanisme

Bien qu'il puisse être remis en mairie, le dossier n'aboutira pas au même service suivant qu'il y aura revente de l'électricité ou pas.

Consommation pure : Services de l'urbanisme de la mairie concernée

Revente (même partielle) : Services de la préfecture.

Le contexte de l'Orléanais :



Source : Atlas de la région centre

Commentaires : Nous constatons que le site situé proche d'Orléans est dans une zone plutôt favorable en termes de vitesse de vent.

Néanmoins, le schéma Régional éolien, indique que l'Orléanais est une zone à enjeux environnementaux où il est déconseillé d'y installer des ZDE (Zone de Développement de l'Eolien)

La mise en place de petit éolien sur le secteur pourrait être envisagée sous réserve d'autorisation d'urbanisme. Une possibilité d'éolienne type « arbre à vent » est une alternative plus facile à mettre en œuvre en tant que mobilier urbain.

Niveau de coût :

Le coût d'investissement pour une éolienne est important : environ 10 000 € HT pour une machine de 1 Kilowatt, 70 000 € pour une éolienne de 20 Kilowatts.

De plus, la performance dépend largement du vent et de la taille de l'éolienne. Estimer la rentabilité d'une installation éolienne nécessite donc de faire des calculs prenant en compte l'énergie produite, revendue et économisée, ainsi que l'amortissement de l'installation. Il est important de confier la réalisation de cette étude à un professionnel. En effet, la rentabilité de l'éolienne domestique est encore un sujet qui fait débat.

Pour une petite éolienne domestique à axe horizontal de moins de 12 m, avec 3 pâles en fibre de verre renforcé à transmission directe, le prix TTC (avec le TVA réduit) varie suivant la

puissance de l'éolienne. Pour une installation non raccordée au réseau, d'une puissance de 400 watts à 10 kilowatts, le prix oscille respectivement aux alentours de 2 000 euros à 40 000 euros. Pour les éoliennes raccordées au réseau, pour une puissance de 2 kilowatts à 20 kilowatts, le prix varie aux environs de 11 000 euros à 45 000 euros.

Notons que ces prix ne comprennent pas les coûts des batteries et des onduleurs, ni le coût d'installation et les travaux nécessaires. Il existe principalement deux types d'éoliennes commercialisées : celles qui sont d'origine nord-américaine et celles d'origine japonaise. Ces dernières présentent l'avantage d'être moins lourdes, moins encombrantes et silencieuses. On considère par ailleurs que généralement, moins il y a de pale, plus l'éolienne est efficace.

Tarif de vente de l'électricité éolienne :

La vente de l'électricité produite par les installations éoliennes

Les exploitants d'installations éoliennes implantées dans le périmètre d'une ZDE bénéficient d'un tarif de rachat préférentiel. Ce tarif, fixe par l'Etat dans le cadre d'un contrat de 15 ans, est actuellement de 8,2 c€/kWh sur les 10 premières années du contrat.

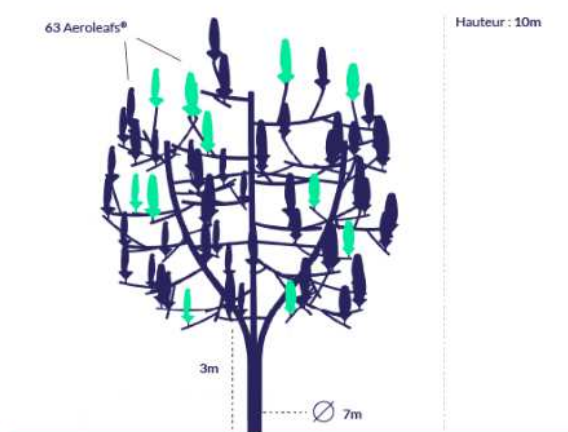
Les exploitants d'installations éoliennes qui seraient implantées en dehors du périmètre d'une ZDE ont la possibilité de vendre leur production électrique de gré à gré à un fournisseur d'électricité agréé par RTE (gestionnaire du réseau transport d'électricité).

Le prix de rachat proposé par ces entreprises est compris entre 4 et 8 c€ HT/kWh (ce prix est généralement indexé sur les cours de la bourse européenne d'électricité Power Next).

VI.9.2 Etude d'opportunité à l'échelle de la ZAC

La possibilité d'implanter des éoliennes s'intégrant parfaitement dans le paysage urbain est faible. Nous préconisons la mise en place d'éolienne type arbre à vent.

Descriptif de l'arbre à vent : 63 mini aérogénérateurs sont implantés sur un arbre métallique



Caractéristiques :

Puissance installée : 4.1 kW

Hauteur 10 m- largeur 8 m – Poids : 4 Tonnes

Production à partir de 2 m/s

Production moyenne : 2400 kWh/an

Tarif : 30 000 € HT

Source : fournisseur Newwind

Avec la mise en place de 6 arbres à vent, il est possible de compenser la consommation électrique annuelle de 6 logements environ. Le temps de retour sur investissement est très long (sup à 50 ans) avec les tarifs d'achat actuelle de l'électricité.

Conclusion : la production d'électricité renouvelable par éolienne (inférieur à 12 m de hauteur) ne semble pas opportune. La rentabilité est faible, et l'impact paysager non négligeable.

VI.10. LA COGENERATION

VI.10.1 Définition

Qu'est-ce que la cogénération ?

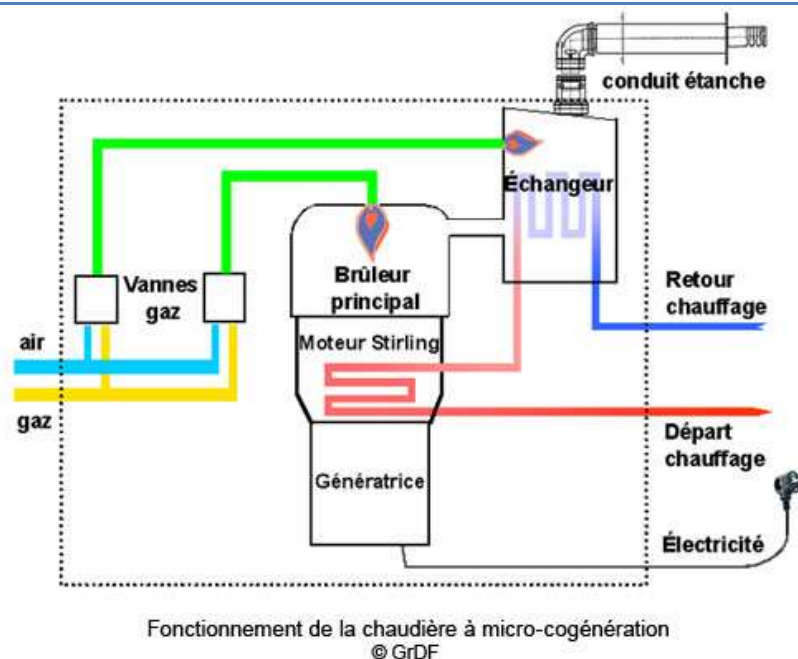
Une **unité de cogénération** permet la production simultanée de chaleur et d'électricité. Cette solution engendre **une économie d'énergie** par rapport aux moyens de production classiques (chaudière et centrale électrique).

En effet, la chaleur perdue classiquement lors de la conversion en électricité est valorisée totalement pour chauffer le bâtiment ou pour la préparation d'eau chaude sanitaire.

L'électricité produite est en grande partie consommée sur place, ce qui permet d'éviter les pertes en ligne lors du transport sur de longues distances et de s'affranchir des coûts de distribution d'énergie.

Cette solution innovante peut fonctionner au gaz naturel, à l'huile végétale, au biodiesel ou au mazout.

Le dimensionnement d'une chaudière à condensation est basé sur 20 à 30% de la puissance thermique nécessaire au projet.



Contexte réglementaire

L'arrêté du 20 juillet 2016 fixe les performances minimales en Ep que doivent satisfaire les cogénérations pour prétendre à l'obligation d'achat.

- $E_p > 10\%$ pour les cogénérations > 50 kWe

- $E_p > 0$ pour les micro-cogénérations < 50 kWe. Notons au passage que les définitions de micro et minicogénération ont évolué : micro < 50 kWe et 50 kWe $<$ mini < 300 kWe.

L'arrêté du 3 novembre 2016 fixe les conditions : prix, durée, processus de demande pour l'obligation d'achat (< 300 kWe) et le nouveau dispositif de complément de rémunération pour les cogénérations < 1 MWe

Caractéristiques du contrat C16

- Durée : 15 ans (et non plus 12 ans comme en C13)
- Economie d'énergie primaire (E_p)
- déclarative pour les cogénérations < 50 kWe
- mesurée pour les cogénérations plus importantes. Ce qui nécessite la pose de compteurs pour mesurer annuellement les rendements électriques et thermiques du module de cogénération.
- Un tarif d'achat compris entre 135 et 150 €/MWh
- Le C16 est une vraie obligation d'achat : EDF OA est obligée d'acheter au tarif C16 même pour 1 kWh.
- Le MOA peut vendre son électricité en hiver comme en été ou autoconsommer ou non une partie de sa production d'électricité et de vendre l'électricité restante à EDF OA.

VI.10.2 Etude d'opportunité à l'échelle de la ZAC

Les besoins de chaleur estimés pour le chauffage et l'eau chaude des logements sont estimés à 2515 MWh/an. De plus, les besoins d'éclairage des logements sont estimés à 168 MWh/an.

La puissance de la chaufferie se situe 2 MW. Nous préconisons la mise en place d'un cogénérateur gaz de 400 kW thermique et 200 kW électrique et une chaudière gaz de 1900 kW environ.

Détails des calculs de consommations énergétiques de gaz naturel :

	sc1
besoin de chaleur en MWh/an	2515
couverture chaleur par cogénérateur	70%
production chaleur cogénérateur en MWh/an	1760,5
Puissance chaufferie thermique kW	1956
Puissance thermique cogénérateur (30%)	400
Puissance électrique cogénérateur	200
nombre heure de fonctionnement	4401
Production électrique en MWh/an	880
consommation gaz cogénérateur en MWh/an	2861
consommation gaz hors cogénération en MWh/an	755
cout du MWh gaz	50
Prix du tarif d'achat de l'électricité en €/MWh	135

Taux de couverture des besoins énergétiques :

Chauffage : 100% des besoins

Avec 2500 kWh/logement, il est possible de couvrir la consommation annuelle électrique de 352 logements soit plus de 60% des logements de la zone.

Prix de revient du MWh de chaleur sur réseau de chaleur :

L'investissement nécessaire pour le projet y compris le réseau de chaleur enterré est de l'ordre de 2 850 000 € TTC.

	sc1
P1	180766
P2	18904
P3	15000
P4	142652
revenu €/an	-118834
€ /an	238488
€/MWh	95

Avec un amortissement de l'investissement sur 20 ans, le prix de revient de la chaleur serait de 95 €/MWh. Ce tarif n'est pas **acceptable et compétitif** pour les futurs logements.

VII. SYNTHÈSE

VII.1. RESSOURCES EN ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION DISPONIBLES

Type d'énergie	Potentiel technique et économique	Invest. k€	Chauffage urbain	Electricité	Avantages	Inconvénients/Contraintes
Bois - biomasse	faible	2913 à 5535	X 110 €/MWh à 58 €/MWh Sans aide		-Disponibilité de la ressource forestière locale -Contribution au développement de la filière locale forestière	-Densité énergétique insuffisante -Prix de revient théorique du MWh important – pas de rentabilité en chauffage urbain sauf avec gros consommateur
Incinération	aucun		x		-Valorisation de chaleur possible	-Eloignement des zones habitées
Récupération Chaleur fatale	aucun	-	X		-Valorisation de chaleur basse température pour le chauffage	-Dépendant de la volonté de l'industriel de la mise en place de récupérateur de chaleur -Mixité acteur publique et privé
Biogaz méthanisation	Très faible	-	X	X	-Délestage de la station d'épuration -Possibilité de cogénération	-Contrainte de sécurité pour l'implantation du site -Ressources locales en cours de mobilisation pour projet sur parc d'activité de la Charbonnière
Géothermie très basse température	moyen	2633 à 3055	X 91 €/MWh à 58 €/MWh		-Sous-sol favorable à la géothermie sur forage -Fonctionnement en mode chaud et froid possible	-Faible rentabilité économique -Nécessité d'une étude de faisabilité technico-économique

Type d'énergie	Potentiel technique et économique	Invest. k€	Chauffage urbain	Electricité	Avantages	Inconvénients/Contraintes
Récupération chaleur sur eaux usées	Très faible	320	X 250 €/MWh à 500 €/MWh		-Disponibilité annuelle -Mise en œuvre simple	-Faible rentabilité économique -Dépendant des fluctuations des débits d'eaux usées
Solaire photovoltaïque	fort	15 pour 20m2 soit 8385		X	-Grande surface de toiture potentiellement disponible -Permet de compenser les consommations électriques de 630 logements	-Investissement non négligeable pour les logements -Rentabilité de 14-18 ans
Eolien	faible	-		X	-Potentiel éolien important dans l'Orléanais - avec 6 « arbres à vent », compensation de la consommation électrique de 6 logements	-Investissement important -La ZAC n'est pas dans un secteur identifié comme favorable au développement éolien -Impact paysager non compatible avec le site en éolien standard
Cogénération gaz	faible	2850	X 95€/MWh	X	-Production de chaleur et d'électricité – efficacité énergétique -Couverture des besoins de chauffage et de 60% des besoins électrique des logements	-Basé sur une énergie fossile -Gestion du site par la collectivité -Emprise foncière supplémentaire

VII.2. BESOINS ENERGETIQUES

Au regard des éléments présentés ci-dessus les sources de production d'énergie renouvelable et nouvelles à envisagées sont donc les suivantes :

- Le solaire : passif, photovoltaïque et thermique (selon les besoins)
- La géothermie sur forage (dédié à un quartier ou un bâtiment communal – école ou autre)

Il est important de rappeler qu'une étude thermique et énergétique est nécessaire lors de la construction d'un bâtiment.

En effet, l'étude énergétique permettra de réduire les besoins énergétiques en optimisant la conception, l'ensoleillement, l'accès à l'éclairage naturel, ...

Des règles simples permettent de disposer les parcelles et définir la distance minimale entre les bâtiments.

VIII. CONCLUSION

La création d'un réseau de chaleur ou d'une boucle d'eau sur la ZAC Val d'Ouest ne semble pas être viable économiquement avec les données actuelles. En effet, les besoins de chaleur en RT2012 sont faibles et limitent donc l'intérêt de réaliser de grands travaux.

Néanmoins, la création d'un réseau de chaleur biomasse peut bénéficier d'aide de l'ADEME via le Fond Chaleur. Le Fonds Chaleur a pour objectif de financer les projets de production de chaleur à partir d'énergies renouvelables tout en garantissant un prix inférieur (d'au moins 5%) à celui de la chaleur produite à partir d'énergies conventionnelles.

Au vu des résultats, il serait intéressant d'orienter les futurs propriétaires à :

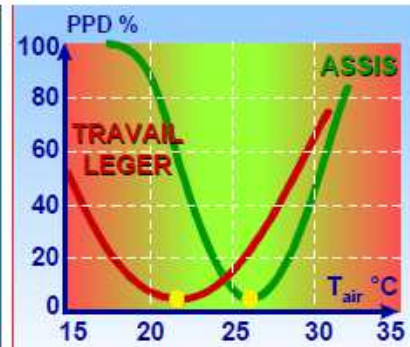
- Etude thermique de leur bâtiment avec mise en place d'énergies renouvelables et étude d'ensoleillement pour une conception cohérente.
- Mise en place de toiture photovoltaïque permettant de compenser l'éclairage (volonté individuelle)
- Politique de covoiturage à encourager.
- Mutualisation pour achat groupé de gaz ou bois énergie (volonté collective).

Ainsi au vu de cette étude, nous pouvons noter que de nombreuses études complémentaires devront être réalisées afin de vérifier la faisabilité techno-économique des orientations choisies et notamment les contraintes d'inondabilité.

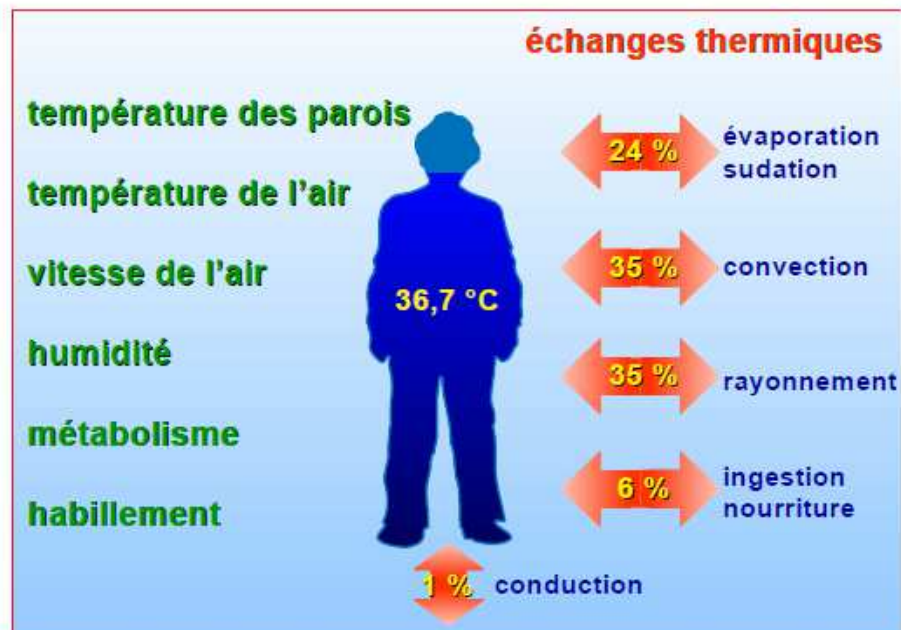
Nous conseillons donc dans un premier temps, de sensibiliser les propriétaires souhaitant s'installer dans la ZAC à intégrer des énergies renouvelables dans leur mix énergétique. Des incitations financières peuvent être possibles pour y parvenir.

Annexe 1 : Notion de confort thermique

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique.
Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement.



Pourcentage prévisible d'insatisfaits :
température de confort pour deux activités différentes.

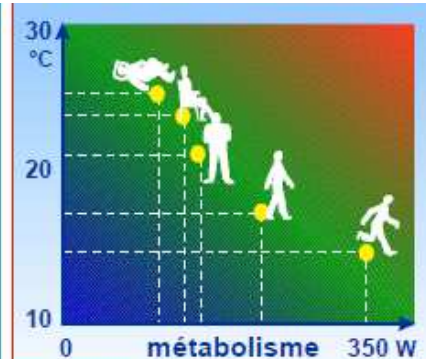


2 Les pertes thermiques du corps humain dépendent de 6 paramètres physiques.

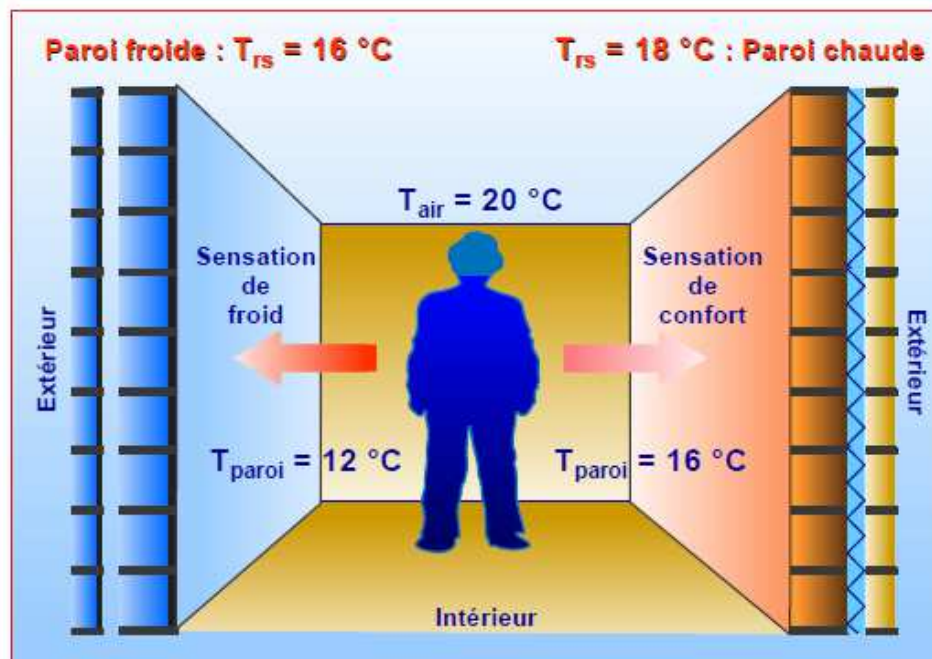
Notion de température ressentie et paroi froide

Dans une situation donnée, la température peut varier autour de la température de confort T_{rs} sans que le niveau de confort thermique de l'individu ne soit modifié.

$$T_{rs} = (T_a + T_p) / 2$$

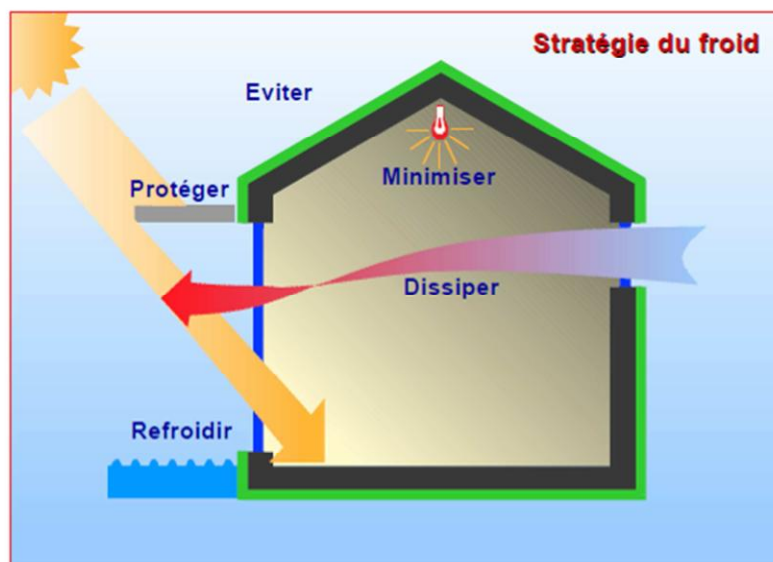


Températures de confort pour différentes activités (d'après O. Fanger).

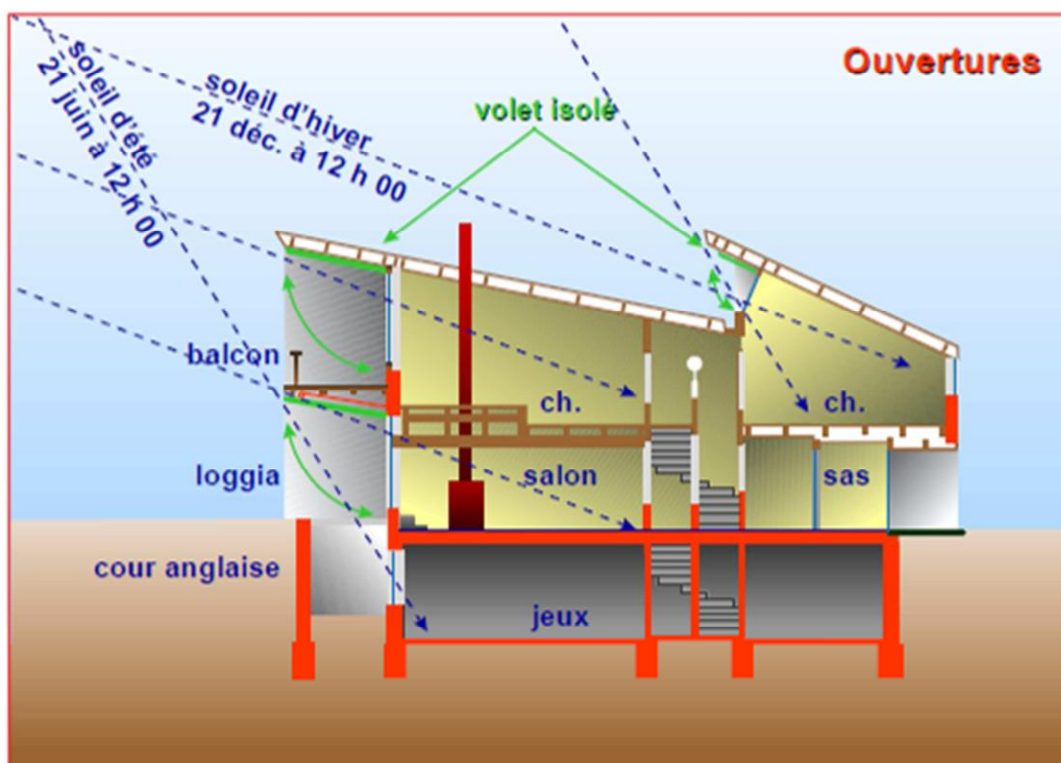


2 La température de confort dépend de la température de l'air et de la température des parois.

Annexe 2 : Protection solaire pour confort d'été



2 Les principes du confort d'été.

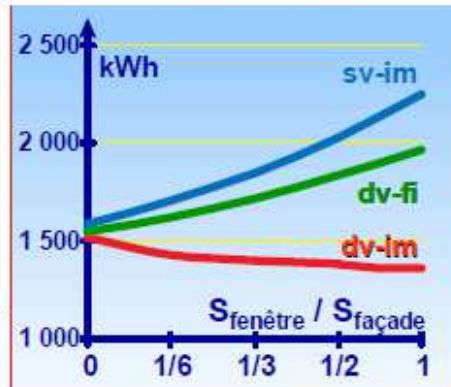


2 Le travail en coupe des ouvertures permet de déterminer l'importance et le calendrier des apports de lumière naturelle et des gains solaires (arch. H. Bolliger).

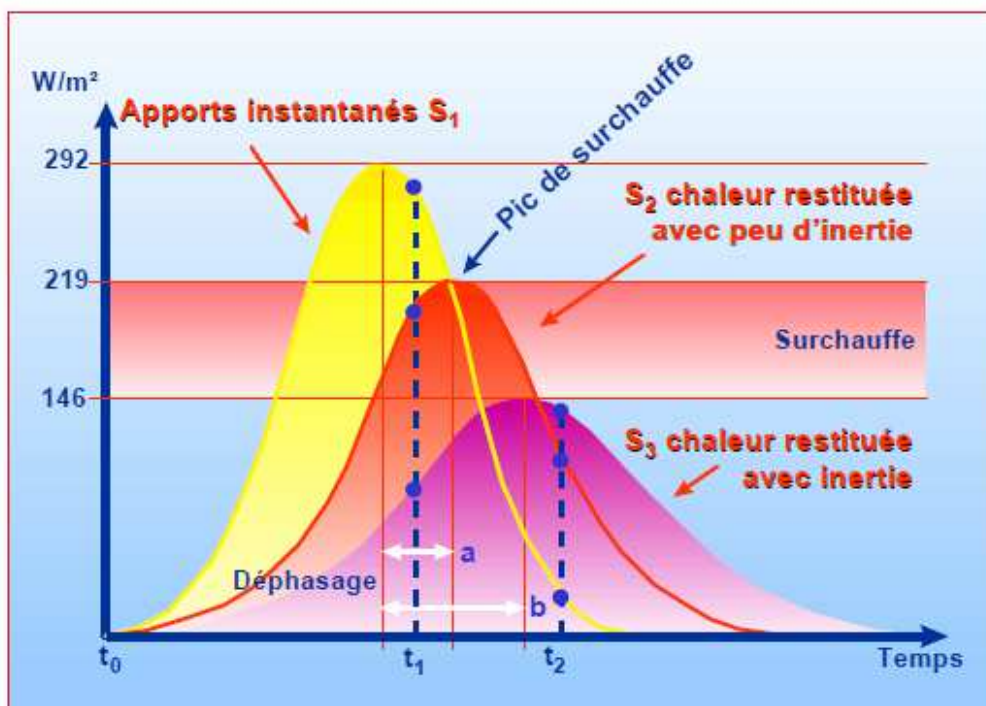
Annexe 3 : Notion de déphasage et d'inertie

L'inertie thermique et le stockage d'énergie

L'inertie d'un bâtiment mesure sa capacité à stocker la chaleur, à en différer la restitution et à atténuer l'effet des surchauffes dues aux apports solaires.





Variation des besoins en énergie en fonction des vitrages et de l'inertie. **1**



2 Réaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaires.

Annexe 4 : Résultat de modélisation solaire photovoltaïque



Estimation de la production PV injectée dans le réseau


Les résultats calculés par le présent logiciel sont donnés à titre indicatif et devront faire l'objet d'une étude les confirmant. En aucun cas, ils n'engagent la responsabilité de l'INES.

Choix de la ville :
 Prendre en compte un masque :

Inclinaison du plan :
 Orientation du plan :
 Albedo du sol :

Puissance crête de l'installation PV : kW

Investissement initial de l'installation PV (total ☐ ou par Wc ☒) : €/W

Taux de subvention à l'investissement initial : %

Rendement de conversion électrique module PV vers réseau :

Coût de la maintenance annuelle en % de l'investissement initial :

Tarif d'achat de l'électricité photovoltaïque : €/kWh

Taux d'actualisation de l'argent :
 Durée de vie de l'installation :

Calcul de la production électrique, moyenne par jour ☐ ou cumulée ☒
[COMPARAISONS](#)

	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
IGP (kWh/m²)	54	68	112	145	177	178	168	153	137	98	54	38	1382
Prod (kWh)	12261	15403	25220	32634	39726	40010	37837	34480	30821	21949	12067	8509	310916

Ou entrer une valeur de prod : ☒ non, ☐ oui en kWh, ☐ oui en kWh/kWc

Calculs économiques (par la méthode TEC de B.Chabot/ADEME)

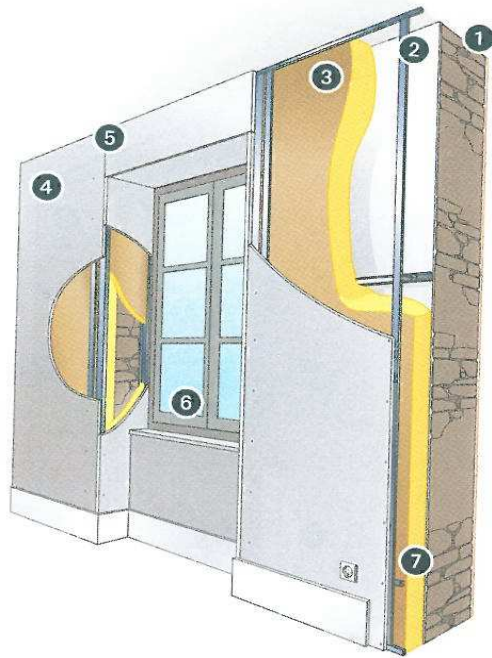
Productivité électrique annuelle par kiloWatt de puissance crête :	1036.4	kWh/kWc.an
Recette annuelle (CF ou Cash flow) :	93274.86	€ par an
Temps de Retour Brut (TRB) :	9.6	an(s)
Prix de revient du kWh photovoltaïque (CGA) :	0.224	€/kWh
Marge sur le prix de vente (MPV) :	25.5	%
Temps de Retour Actualisé (TRA) :	13.1	an(s)
Taux de Rentabilité Interne (TRI) :	7	%
Gain ou Valeur Actuelle Nette (VAN) en fin d'exercice :	353797	€
Taux d'enrichissement du capital (TEC) :	0.393	(sans unité)
Taux de subventions à l'investissement initial pour une rentabilité nulle :	-39.3	%
Investissement maximum pour une rentabilité nulle :	4.03	€/Wc

Calcul du gain environnemental

Equivalent foyer moyen (2 500 kWh/an sans chauffage ni eau chaude)	124.37	foyer(s)
Emission de CO2 évitée (moyenne Europe : 0,476 kg/kWh) [1]	147996	kg par an
Emission de CO2 évitée (moyenne France : 0,089 kg/kWh) [1]	27672	kg par an
Matières hautement radioactives à longue vie évitées (0,0034 g/kWh)	1057.115	g par an
Temps de retour énergétique (modules polycristallins : 3 kWh/Wc) [2]	2.9	an(s)

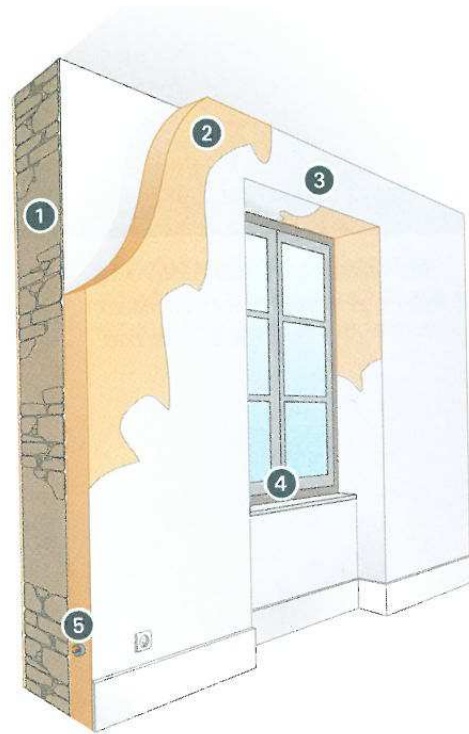
Annexe 5 : Différent mode d'isolation

Isolation par l'intérieur



Vue en coupe de la mise en œuvre d'une isolation rapportée avec laine de verre

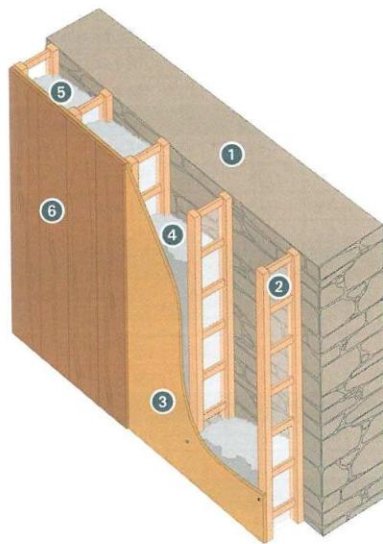
- ① Mur en pierre
- ② Ossature métallique horizontale et verticale
- ③ Panneaux de laine de verre, épaisseur 150 mm
- ④ Plaques de plâtre PPV, épaisseur 13 mm
- ⑤ Traitement des joints entre plaques
- ⑥ Menuiserie, éventuellement nouvelle
- ⑦ Passage des gaines électriques



Vue en coupe de la mise en œuvre d'un enduit chaux-chanvre

- ① Mur en pierre
- ② Enduit chaux-chanvre (150 mm)
- ③ Enduit à la chaux
- ④ Menuiserie, éventuellement nouvelle
- ⑤ Passage des gaines électriques

Isolation par l'extérieur



Vue en coupe de la mise en œuvre d'une isolation extérieure en ouate de cellulose

- ① Mur en pierre
- ② Echelle U*psi en bois
- ③ Panneaux en fibre de bois, épaisseur 22 mm
- ④ Ouate de cellulose, épaisseur 200 mm
- ⑤ Ossature pour la pose du bardage
- ⑥ Bardage bois

Cas n° 3 : isolation extérieure en fibre de bois

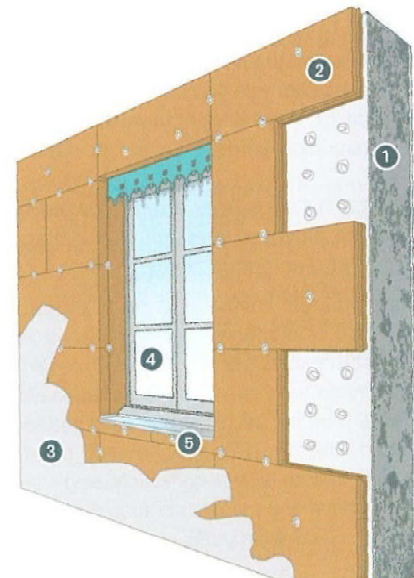
- bâtiment urbain,
- mur en mâchefer de 40 cm,
- U de 1,30 W/m².K,
- les façades sont à refaire.

Après travaux :

- U = 0,23 W/m².K
- R = 4,37 m².K/W

Vue en coupe de la mise en œuvre d'une isolation extérieure en fibre de bois

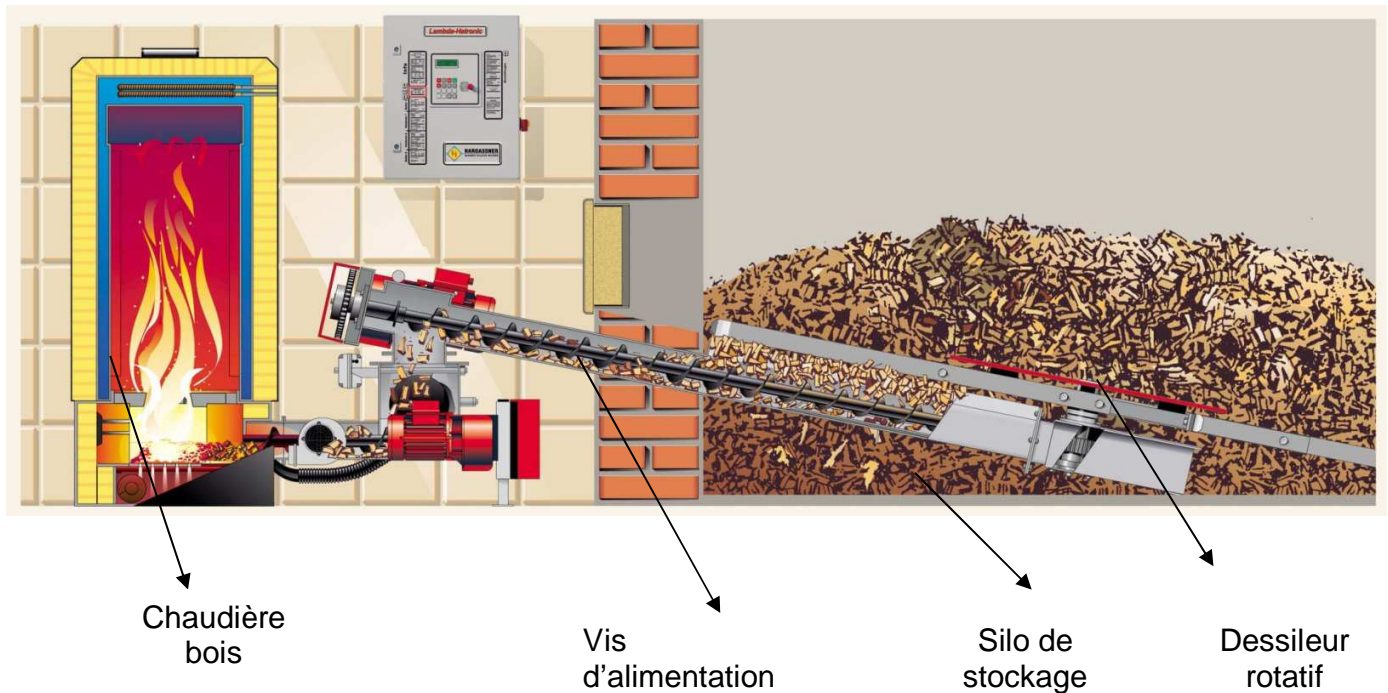
- ① Mur en mâchefer
- ② Panneaux de fibre de bois, épaisseur 15 cm, collés et chevillés
- ③ Enduit mince minéral respirant
- ④ Menuiserie, éventuellement nouvelle
- ⑤ Nouvel appui de fenêtre



Annexe 6 : Chaufferie automatique au granulé de bois

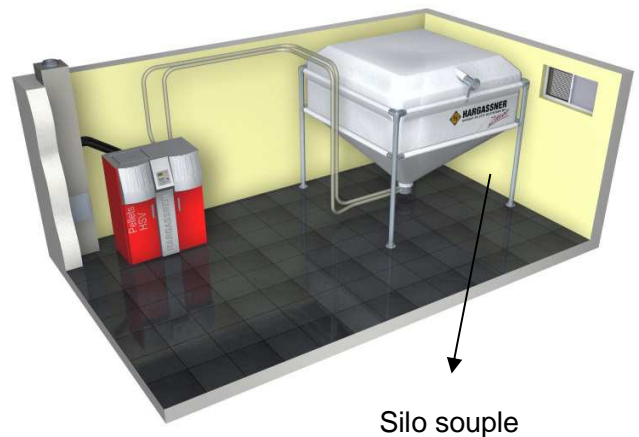
Ce type d'appareil offre une facilité d'utilisation similaire à celle des chaudières fioul ou gaz. L'alimentation est programmée et automatique. Elle est assurée par une vis sans fin. Le rendement dépasse souvent 90%. Il est toutefois nécessaire de prévoir la mise en place d'un silo de stockage pour les granulés.

Coupe d'une chaufferie bois



Possibilité pour du granulé

- Extracteur par transfert pneumatique sans vis ou avec vis (idem plaquette)
- Silo en dur ou souple



Annexe 7 : Pompes à chaleur - différents captages

LE CAPTAGE HORIZONTAL

Le captage horizontal consiste à récupérer la chaleur par le biais de capteurs disposés horizontalement à environ 60 cm de profondeur. Ces capteurs sont des tuyaux en polyéthylène ou en cuivre gainé spécifiquement adaptés à la circulation sous pression et en circuit fermé de l'eau glycolée ou du fluide frigorigène, selon la technique utilisée. C'est grâce à eux que se font les échanges thermiques.

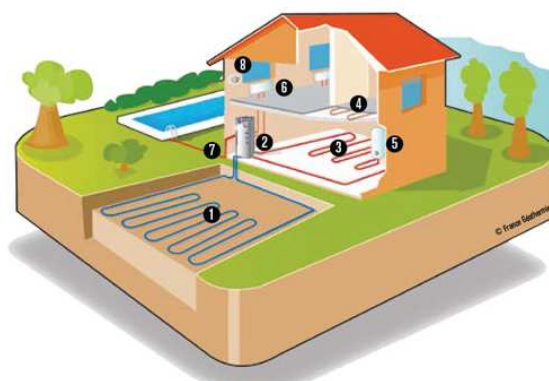
Les capteurs horizontaux nécessitent une surface de terrain de 1,5 à 2 fois la surface à chauffer. Par exemple, pour une habitation de 100 m², il faudra disposer d'au moins 150 m² de surface extérieure. L'exposition du terrain a peu d'incidence sur le rendement de l'installation. Et, sauf exception la nature du sol, importe peu. Les capteurs peuvent ainsi être installés sur un terrain jusqu'à 20 % de pente. En revanche, la distance entre les tuyaux doit être de 30 cm et le circuit ne doit pas se trouver à moins de 2 ou 3 mètres d'un arbre, d'un ouvrage (fosse septique) ou de canalisations.

Enterrés à moins d'un mètre de profondeur, les capteurs horizontaux ne nécessitent pas de travaux importants. Le coût de leur installation est donc peu élevé. Ils s'adaptent aussi bien à la construction neuve qu'à la rénovation. Selon l'appareil choisi, il sera également possible de rafraîchir et climatiser sa maison ou ses locaux par simple inversion du système : on parle de pompes réversibles et de réversibilité du système.

Ainsi, lorsqu'elle est en mode chauffage en hiver, la pompe extrait la chaleur du sol alors qu'en été, en mode rafraîchissement, elle restitue à la terre les calories extraites, ce qui présente l'avantage de régénérer la terre

Le captage horizontal

- ❶ Le capteur
- ❷ La pompe à chaleur
- ❸ Le chauffage au sol
- ❹ Le plancher chauffant
- ❺ L'eau chaude sanitaire
- ❻ Les radiateurs
- ❼ Le kit piscine
- ❽ Le thermostat



LE CAPTAGE VERTICAL

Le captage vertical consiste à récupérer la chaleur du sol à des profondeurs comprises entre 80 et 120 mètres. Il nécessite donc un ou plusieurs forage(s) selon la nature de l'opération prévue. Ce système de sonde géothermique est adapté à tous les contextes géologiques.

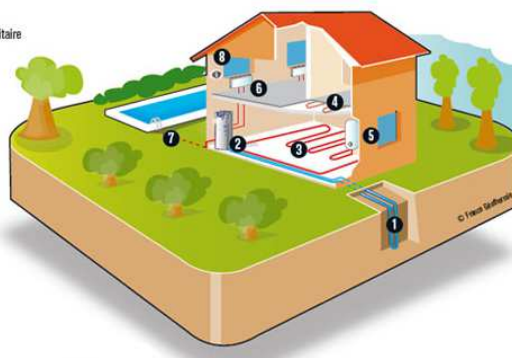
Le circuit comporte un tube formant une seule boucle verticale, en forme de U. Réalisé en polyéthylène, ce tube permet la circulation du fluide sous pression et en circuit fermé. Le fluide va récupérer la chaleur et la transmettre à la PAC pour chauffer l'habitation.

Ce système par captage vertical a l'avantage d'occuper une surface au sol nettement moins importante que le système horizontal. D'un coût plus élevé que le captage horizontal, il offre une performance constante, la température à - 80 mètres ne variant que faiblement. Il trouve des applications en maison individuelle et en petit tertiaire (crèche, mairie, bureaux, ...), mais la possibilité de multiplier les forages permet d'envisager des applications plus importantes (notamment en habitat collectif). Enfin, il est particulièrement adapté pour la rénovation.

Tout forage fait l'objet de démarches administratives préalables : s'il est effectué à une profondeur supérieure à 10 mètres, il est soumis à une **déclaration** ; au-delà de 100 mètres, il fait l'objet d'une **autorisation**. Les démarches de déclaration ou d'autorisation se font auprès de la DDT. Il est également nécessaire de vérifier auprès de sa mairie que la zone de forage prévue ne se situe pas dans un périmètre de protection de l'eau.

Le captage vertical

- | | |
|---|--------------------------|
| 1 Le capteur
(ou sonde géothermique) | 6 L'eau chaude sanitaire |
| 2 La pompe à chaleur | 8 Les radiateurs |
| 3 Le chauffage au sol | 7 Le kit piscine |
| 4 Le plancher chauffant | 9 Le thermostat |



LE CAPTAGE SUR NAPPE D'EAU SOUTERRAINE

Le système de captage sur nappe d'eau souterraine consiste à prélever l'eau de cette nappe et à en récupérer la chaleur. Il nécessite la réalisation de deux forages, l'un pour le captage proprement dit, l'autre pour rejeter l'eau une fois les calories extraites. Selon les types d'eau, il est conseillé d'installer un échangeur entre le capteur et la pompe à chaleur, voire un filtre, afin de récupérer les impuretés éventuelles de l'eau.

Le captage sur nappe offre un grand intérêt en termes de puissance et de rendement. La température de l'eau d'une nappe reste constante toute l'année (entre 9° C et 12° C). Le COP (coefficient de performance) peut atteindre 5 (pour 1 kWh d'électricité consommée, 5 kWh sont restitués) alors qu'il s'échelonne entre 3 et 4,5 pour les autres systèmes (captage horizontal ou

vertical). Il constitue de ce fait le système de PAC le plus performant en termes de substitution d'énergie.

Le captage sur nappe nécessite un ou deux forages de 30 à 100 m de profondeur. Le captage doit être réalisé par un foreur professionnel et déclaré à la DDT locale. Suivant le volume capté, une taxe sur captage sera à envisager.

Le captage sur nappe d'eau souterraine

- ❶ Le capteur
- ❷ La pompe à chaleur
- ❸ Le chauffage au sol
- ❹ Le plancher chauffant
- ❺ L'eau chaude sanitaire
- ❻ Les radiateurs
- ❼ Le kit piscine
- ❽ Le thermostat

