ORLÉANS MÉTROPOLE

DIRECTION DE LA PLANIFICATION DE L'AMENAGEMENT URBAIN ET DE L'HABITAT

Service Projets Urbains

ZAC DES GROUES



PROJET DOSSIER DE CRÉATION DE ZAC

Mai 2019

Annexe n°2 **– Etude d'approvisionnement en Energies Renouvelables** (VIZEA 2019)

ETUDE D'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIES RENOUVELABLES

LES GROUES, ORLEANS



Réf : 2017.696-E01 B 25/03/2019

Rédigé par : Nader BEN MAAD

Vérifié par : Simon DIARD

Vizea marque de LesEnR, SARL au capital de 56 000 euros - 492 275 631 RCS de Nanterre
59, avenue Augustin Dumont - 92240 Malakoff - Tel : 01 57 19 50 06 - contact@vizea.fr – www.vizea.fr

SOMMAIRE

1. CONTEXTE 3

1.1. Contexte règlementaire 3

1.2. Contexte territorial du site 4

1.3. Prise en compte des documents de planification du territoire 5

2. ANALYSE DES BESOINS ENERGETIQUES 9

2.1. Programmation 9

2.2. Description des besoins estimés 9

2.3. Bilan énergétique 10

3. INVENTAIRE DU POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES 12

3.1. Les réseaux de chaleur 12

3.2. La géothermie 16

3.3. Les énergies de récupération 21

3.4. Le bois-énergie 29

3.5. La méthanisation 34

3.6. L'énergie solaire 36

3.7. L'éolien 41

3.8. L'hydroélectricité 42

3.9. Bilan atouts/contraintes 43

3.10. Scénarios d'approvisionnement 45

4. ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE 47

4.1. Les hypothèses 47

4.2. Description des indicateurs économiques 48

4.3. Description des indicateurs environnementaux 49

4.4. Scénario de référence 50

4.5. Scénario Autonomie 52

4.6. Scénario Réseau de chaleur + panneaux PV 61

5. SYNTHESE COMPARATIVE 65

5.1. Bilan environnemental 65

5.2. Bilan économique 66

5.3. Conclusion 67

6. TABLE DES ILLUSTRATIONS 68

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

1.CONTEXTE

1.1. Contexte règlementaire

La transition énergétique est un enjeu fondamental du 21ème siècle. Afin de relever ce défi, la France se doit de mener une politique exemplaire pour lutter efficacement contre le réchauffement climatique et réduire le recours aux énergies fossiles et nucléaires. La transformation du modèle énergétique permet de favoriser l'emploi, d'encourager l'innovation et d'augmenter le pouvoir d'achat grâce aux économies d'énergie. La loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte explicite les objectifs à venir pour le pays :

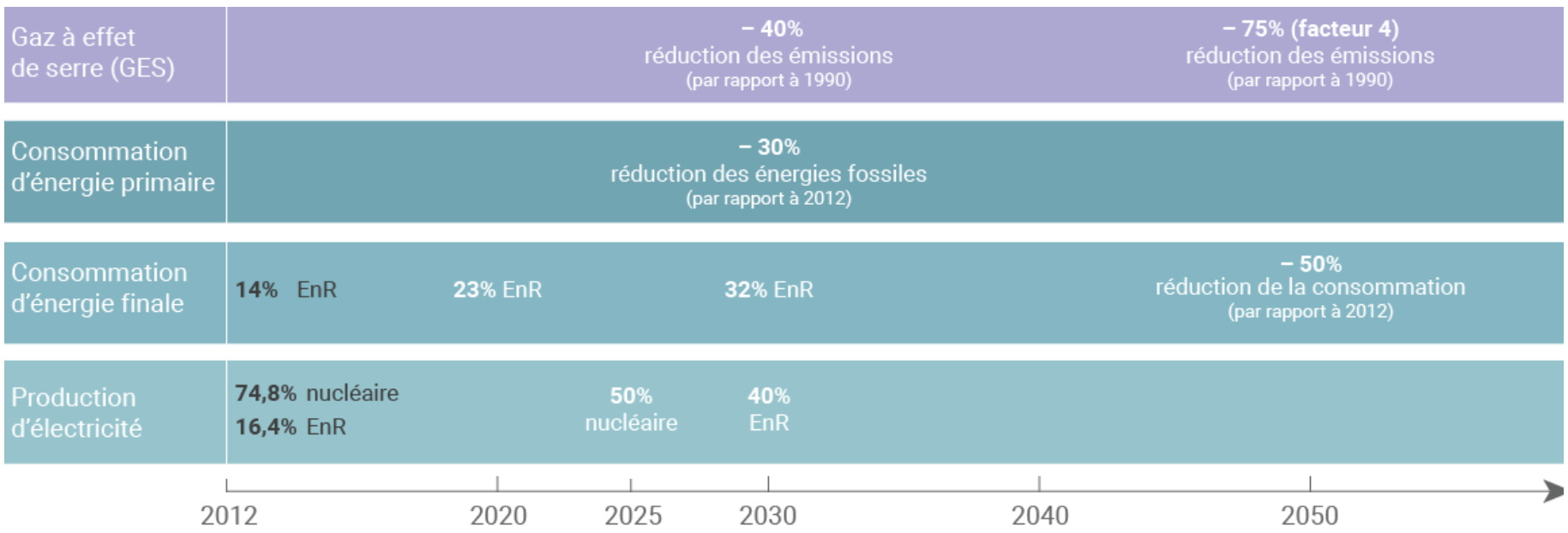


Figure 1. RECAPITULATIF DES OBJECTIFS DE LA LOI LTECV (SOURCE : CONNAISSANCEDESENERGIES.ORG)

Ces ambitions se traduisent territorialement par les schémas régionaux et plans climat air énergie, et dans le cadre des projets urbains, par l'article L128-4 du code de l'urbanisme :

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

Ainsi, cette étude n'a pas pour vocation de présenter sommairement les différentes ressources renouvelables disponibles, mais elle tend à orienter la Maîtrise d'Ouvrage vers la stratégie énergétique la plus efficace sous les différents segments: économique, technique, environnemental et juridique.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

1.2. Contexte territorial du site

Le site des Groues représente environ 60 hectares. Il est localisé sur les communes d'Orléans et de Saint-Jean-de-la-Ruelle. Le périmètre est borné par la tangentielle à l'ouest, la voie ferrée au sud, le carrefour Libération à l'est et la rue Croix Baudu au nord. Les quartiers limitrophes sont les quartiers des Murlins et de la Blossière à l'est et au nord et au sud le quartier Chateaudun-Dunnois / Bannier. Auparavant, un terrain militaire figurait sur le site. Ce terrain dispose d'un fort enjeu stratégique, notamment à travers sa localisation cruciale pour la desserte du secteur Nord-Ouest puis du centre ville et son importante superficie.

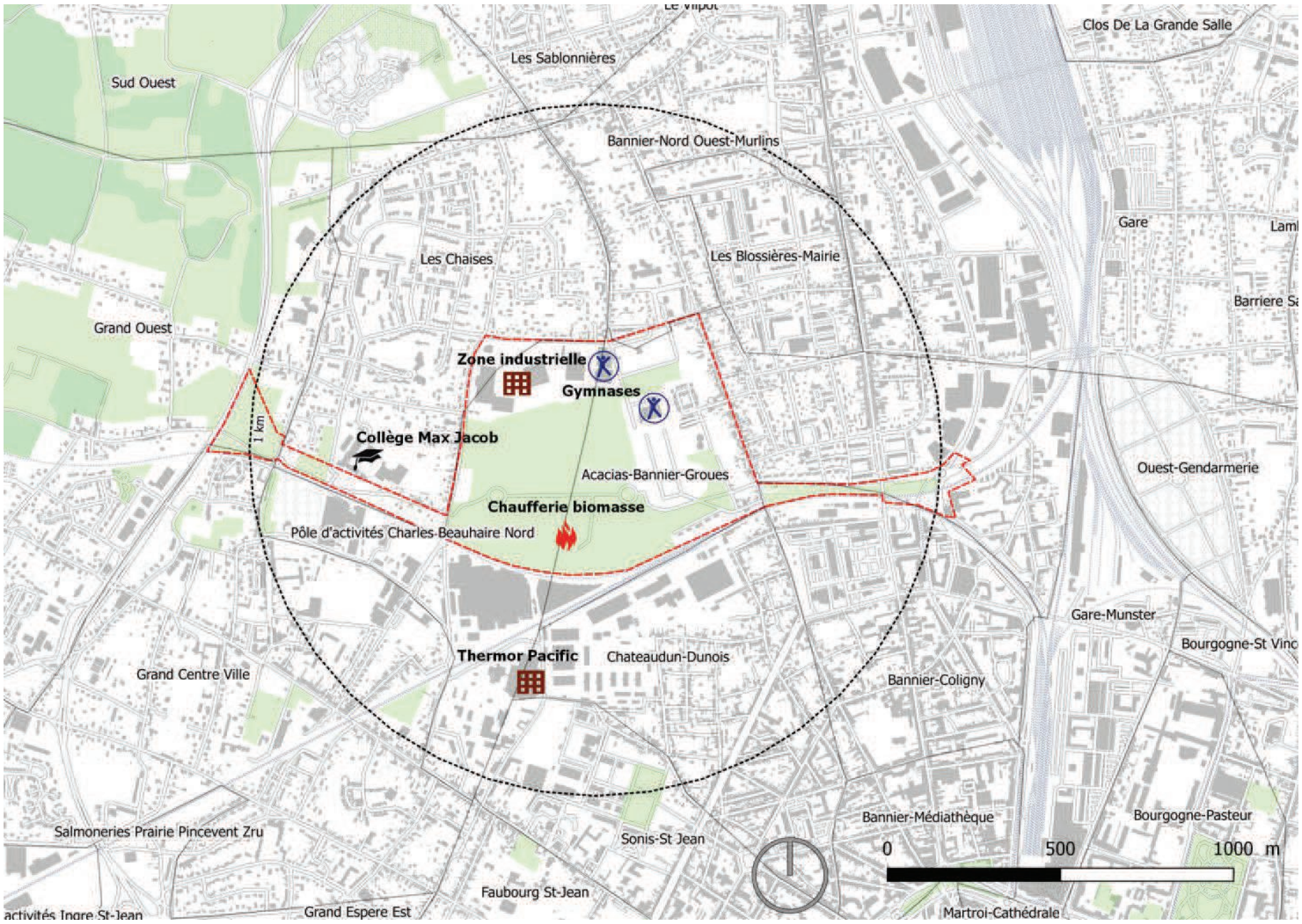


Figure 2. CONTEXTE TERRITORIAL (VIZEA)

Le projet des Groues contient des habitations pavillonaires en son sein mais aussi une zone d'activités, un gymnase et un parc au nord. La partie sud contient une chaufferie biomasse et est également à proximité du pôle d'activités Charles Beauhaire. A l'ouest, le collège Max Jacob est situé à quelques pas du projet. Ces différents acteurs sont susceptibles d'influencer la stratégie énergétique du quartier.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

1.3. Prise en compte des documents de planification du territoire

Il est rappelé les fortes ambitions de la collectivité à travers les documents de planification territoriaux. Ces textes participent à la construction de la stratégie énergétique du quartier.

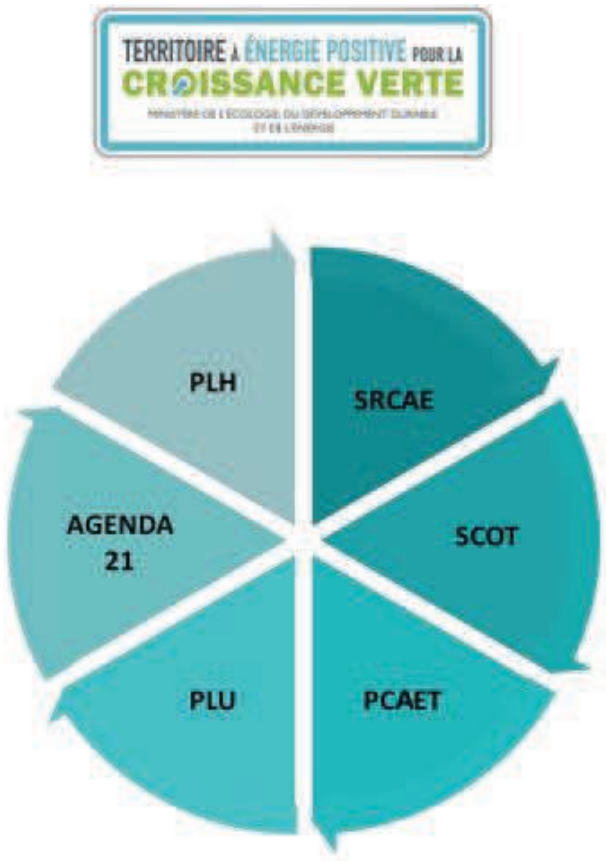


Figure 3. CONTEXTE LOCAL A PRENDRE EN COMPTE

1.3.1. Schéma régional climat air énergie

Le SRCAE de la région Centre, adopté en 2012, fixe sept orientations majeures :

- **maîtriser les consommations et améliorer les performances énergétiques**
- **promouvoir un aménagement du territoire concourant à la réduction des émissions de GES**
- **un développement des ENR ambitieux et respectueux des enjeux environnementaux**
- un développement de projets visant à améliorer la qualité de l'air
- informer le public, faire évoluer les comportements
- **promouvoir l'innovation, la recherche et le développement de produits, matériaux, procédés et techniques propres et économes en ressources et en énergie**
- des filières performantes, des professionnels compétents.

1.3.2. Schéma de cohérence territoriale

Orléans Métropole dispose d'un SCOT depuis 2008. En 2014, après l'examen du premier bilan de celui-ci et afin de tenir compte des évolutions règlementaires, la Métropole a décidé d'engager sa révision. Elle souhaite l'approbation sa nouvelle version en 2019. Ce nouveau SCOT possède quatre grandes postures, visant au développement tout en préservant l'environnement :

- l'accompagnement de la transition du statut de ville à celui de métropole
- l'établissement de nouvelles connexions. Le Métropole souhaite se relier aux territoires et aux pays environnant, mais également préserver les connexions entre les espaces naturels
- **le confortement et la valorisation des ressources naturelles, en engageant une transition vers des modèles plus durables**
- l'assemblement des territoires et la composition d'échelles afin de passer d'un modèle de consommation foncière pour le développement d'activités économiques par grands secteurs traditionnels à un modèle d'économie intégrée sur des territoires mixtes.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

1.3.3. Plan local d'urbanisme

Le conseil municipal d'Orléans a approuvé le Plan Local d'Urbanisme (PLU) par délibération en date du 25 octobre 2013 et sa modification par délibération du 19 septembre 2016.
Le PADD définit les orientations générales des politiques d'aménagement, d'équipement, d'urbanisme, de protection des espaces naturels, agricoles et forestiers, et de préservation ou de remise en bon état des continuités écologiques. Il dessine les lignes de force du projet d'Orléans à un horizon de 10-15 ans.
En compatibilité avec les documents supracommunaux, la ville fonde ses actions et ses projets sur un développement durable, selon une approche à quotités plurielles : gagnante à la fois sur les plans économique, social, environnemental, etc. :

- un équilibre entre un développement urbain maitrisé et la préservation des espaces agricoles et naturels, en limitant fortement l'étalement urbain,
- **des objectifs de renouvellement urbain et de restructuration du centre-ville,**
- une valorisation paysagère et patrimoniale,
- une diversité des fonctions urbaines et une mixité sociale de l'habitat,
- **une volonté de favoriser une utilisation économe et valorisante des ressources et une préservation des milieux naturels et des équilibres écologiques.**

1.3.4. Plan climat énergie territoire

Le Plan Climat Energie Territoire (PCET) a été adopté par la ville d'Orléans en 2012.
Il vise une diminution de 20% des émissions des gaz à effet de serre (GES) pour le territoire d'Orléans à l'horizon 2020.
Au regard du diagnostic et du processus de co-construction, deux axes majeurs ont été retenus pour la stratégie du territoire en matière de lutte contre le changement climatique :

- **l'amélioration de la performance thermique des bâtiments et l'introduction d'énergies renouvelables pour répondre aux besoins de chaleur et d'électricité. Cette priorité porte tant sur les bâtiments dont la Mairie est propriétaire que sur les logements sociaux et privés. Plusieurs actions sont alors envisageables : promouvoir les bâtiments performants pour la construction neuve, rénover les bâtiments existants, les raccorder aux réseaux de chaleur alimentés avec des énergies renouvelables,**
- la promotion d'une mobilité moins émettrice de gaz à effet de serre au travers notamment du développement des véhicules électriques. Cela intervient en complémentarité des politiques d'aménagement du territoire qui doivent contribuer à réduire le besoin de mobilité.

Afin d'intervenir sur ces deux secteurs prioritaires, il a été défini dans le cadre du PCET une série de 14 actions structurantes, qui ont été classées en 5 axes :

- la sensibilisation,
- la mobilité,
- **l'efficacité énergétique,**
- **la politique urbaine,**
- **les énergies renouvelables.**

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

1.3.5. Agenda 21

La ville d'Orléans a mis en place un Agenda 21 au printemps 2006.
Il décline au niveau local les principes du développement durable définis lors du sommet de la terre de Rio en 1992. Il regroupe 234 propositions faites par les Orléanais pour vivre autrement, habiter et se déplacer autrement, réduire les exclusions, revivifier la démocratie, favoriser un autre développement. Il concerne six thématiques, chacune déclinée en groupes d'actions :

Se déplacer autrement

Habiter autrement

- **Favoriser un urbanisme durable**
- **Choisir la haute qualité environnementale**
- Inclure l'intergénérationnel et la solidarité dans la structure urbaine

Vivre autrement

- Développer et mieux gérer la nature en ville
- Réduire les déchets et mieux trier
- **Réduire toutes les consommations-ressources**
- **Sensibiliser les habitants aux nouvelles énergies et aux gestes écocitoyens**
- Améliorer le cadre de vie
- Préserver l'eau par le bio
- Agir pour la santé

Réduire les exclusions

Favoriser un autre développement

Revivifier la démocratie

1.3.6. Territoire à énergie positive pour la croissance verte

Désignée en février 2015 comme Territoire à Énergie Positive pour la Croissance Verte (TEPCV) par le Ministère, Orléans réaffirme son ambition de lutter durablement contre le réchauffement climatique. La collectivité s'engage à réduire les besoins en énergie de ses habitants, des constructions, des activités économiques, des transports, des loisirs.
Six domaines d'action sont prioritaires dans ces territoires :

- **La réduction de la consommation d'énergie : par notamment des travaux d'isolation des bâtiments publics, l'extinction de l'éclairage public après une certaine heure…**
- La diminution des pollutions et le développement des transports propres
- **Le développement des énergies renouvelables : avec par exemple la pose de panneaux photovoltaïques sur les équipements publics, la création de réseaux de chaleur…**
- La préservation de la biodiversité
- La lutte contre le gaspillage et la réduction des déchets
- L'éducation à l'environnement.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

1.3.7. Plan climat air énergie territorial

Le Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) caractérise les grandes orientations à entreprendre à l'échelle métropolitaine pour tendre vers la transition énergétique, grâce à un plan d'actions qui mobilise les différents acteurs du territoire dans une logique de croissance verte.

Le conseil métropolitain a procédé le 25 janvier 2018 à la validation du schéma directeur du PCAET, qui fixe les niveaux d'ambition à atteindre aux horizons 2030 et 2050 sur les axes suivants :

- **Diminution des émissions de gaz à effet de serre.**
- Adaptation aux impacts du changement climatique.
- **Développement des énergies renouvelables et de récupération.**
- Préservation de la qualité de l'air.

Les objectifs énoncés lors de ce conseil sont de :

- **Réduire par 2 les consommations d'énergies dans l'habitat, les transports, les entreprises…**
- **Multiplier par 7 la production locale d'énergies renouvelables: biomasse, géothermie, solaires thermique et photovoltaïque, méthanisation, chaleur fatale industrielle…**
- Développer des politiques dont l'impact sera positif sur la qualité de l'air.

Ces objectifs conduisent pour l'habitat, en termes de **consommations d'énergie finale**, à plusieurs mesures :

- **Rénovation complète (fenêtre, mur, toiture, ventilation) de logements avec des pratiques de rénovation très performantes : gains minimaux de 50 % par rénovation.**
- Densification : Réduction de 30 % de la construction de maisons individuelles au profit de petits et moyens collectifs.
- **Construction neuve : Respect de la norme RT 2020 (34 kWh par mètre carré et par an), substitution accélérée des équipements de chauffage (au bout de 18 ans).**
- **Efficacité des équipements : Incitation à l'achat d'équipements de classe A +.**
- **Sobriété - Évolution des besoins : Diminution des températures de consignes de 2°C avec domotisation des logements. Réduction d'eau chaude et stagnation des consommations électriques.**
- **Évolution des modes de chauffage : Arrêt du développement des systèmes électriques directs dans les logements les plus consommateurs, raccordement de logements à des réseaux de chaleur, développement fort des chauffe-eau solaires, chaudières biomasse, pompes à chaleur.**

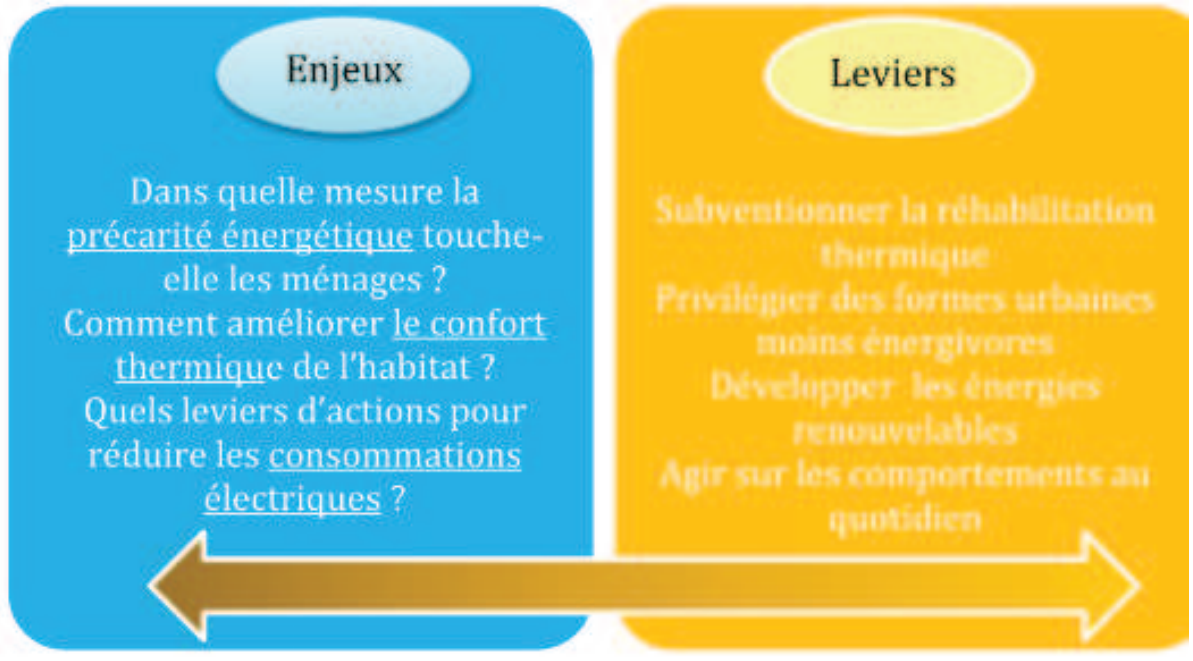


Figure 4. ENJEUX ET LEVIERS POUR L'HABITAT (SOURCE : DIAGNOSTIC PCAET)

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

2. ANALYSE DES BESOINS ENERGETIQUES

2.1. Programmation

La programmation est composée d'habitations ainsi que diverses activités économiques. Le quartier présentera une diversité intéressante, composée de logements collectifs, individuels, en locatif ou en accession. L'ambition de faire du projet des Groues un écoquartier dans la Ville durable permettra d'obtenir un parc habité composé d'un maillage d'espaces publics et de liaisons douces hiérarchisées constituant des îlots urbains.

L'étude portera sur la programmation suivante :

Typologie	SDP (m²)	Nombre de logements
Logements collectifs	56 956	854
Logements individuels	9 240	132
Commerces / Activités	2 043	
Hôtel	1 394	
TOTAL	**103 335**	**986**

Figure 5. PROGRAMMATION ETUDIEE DANS L'ETUDE (SOURCE : MO + COBE)

2.2. Description des besoins estimés

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

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

Besoins d'ECS : *besoin d'eau chaude sanitaire. Le besoin d'ECS ne dépend que très peu de l'enveloppe du bâtiment. Le facteur le plus influent est en effet l'occupation et la typologie de ce bâtiment.*

Besoins de froid : *rafraichissement des bâtiments. Tout comme pour le chauffage, il ne s'agit pas d'un calcul réglementaire mais d'une approche empirique pour estimer au mieux les besoins de froid des bâtiments.*

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

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

2.3. Bilan énergétique

La construction d'une stratégie énergétique cohérente repose sur plusieurs leviers. En effet, cette stratégie ne doit pas seulement concerner la production d'énergie renouvelable mais doit absolument intégrer les consommations pour ajuster au mieux les besoins, ne pas sur-dimensionner les systèmes de production et éviter les surconsommations. Ainsi, on adopte **le principe que l'énergie la moins polluante et la moins coûteuse est celle qui n'est pas consommée**. Il faut donc dans un premier temps évaluer les objectifs du projet en fonction de la consommation d'énergie en favorisant la sobriété et l'efficacité énergétique. Les ambitions environnementales de l'éco-quartier et le phasage de l'opération motivent **l'anticipation de la réglementation thermique 2020**. Ainsi, deux scénarios ambitieux de performance énergétique sont proposés :



Figure 6. SCENARIOS DE PERFORMANCE ENERGETIQUE

Les besoins énergétiques sont calculés selon les scénarios de performance énergétique, la typologie de bâtiment, et les différents vecteurs énergétiques :

Typologie	Performance	Surface (m²)	Besoin de chauffage (kWh/an)	Besoin d'ECS (kWh/an)	Besoin de froid (kWh/an)	Besoin d'électricité (kWh/an)	Puissance Chaud (kW)	Puissance Froid (kW)
Logements collectifs	Effinergie +	56 956	1 403 396	1 566 290	0	1 708 680	1 244	0
Logements individuels	Effinergie +	9 240	284 592	203 280	0	277 200	209	0
Commerces / Activités	Effinergie +	2 043	66 071	22 473	74 161	122 703	45	148
Hôtel	Effinergie +	1 394	32 201	53 669	25 301	51 522	30	51
Total		**69 633**	**1 786 260**	**1 845 712**	**99 462**	**2 160 105**	**1 528**	**199**

Typologie	Performance	Surface (m²)	Besoin de chauffage (kWh/an)	Besoin d'ECS (kWh/an)	Besoin de froid (kWh/an)	Besoin d'électricité (kWh/an)	Puissance Chaud (kW)	Puissance Froid (kW)
Logements collectifs	RT 2020	56 956	877 122	1 566 290	0	1 378 335	1 144	0
Logements individuels	RT 2020	9 240	142 296	203 280	0	223 608	162	0
Commerces / Activités	RT 2020	2 043	62 924	22 473	78 656	87 645	48	157
Hôtel	RT 2020	1 394	32 201	53 669	11 501	36 802	40	46
Total		**69 633**	**1 114 543**	**1 845 712**	**90 156**	**1 726 390**	**1 394**	**203**

Figure 7. BILAN ENERGETIQUE SELON LES SCENARIOS DE PERFORMANCE

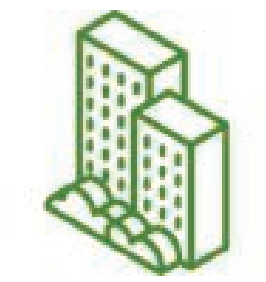
Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Synthèse des besoins selon les ambitions visées



Niveau Effinergie + (RT2012-20%)

1 786 MWh	1 845 MWh	2 160 MWh	99 MWh



Niveau RT 2020 (Passif : RT2012-40%)

1 114 MWh	1 845 MWh	1 726 MWh	90 MWh

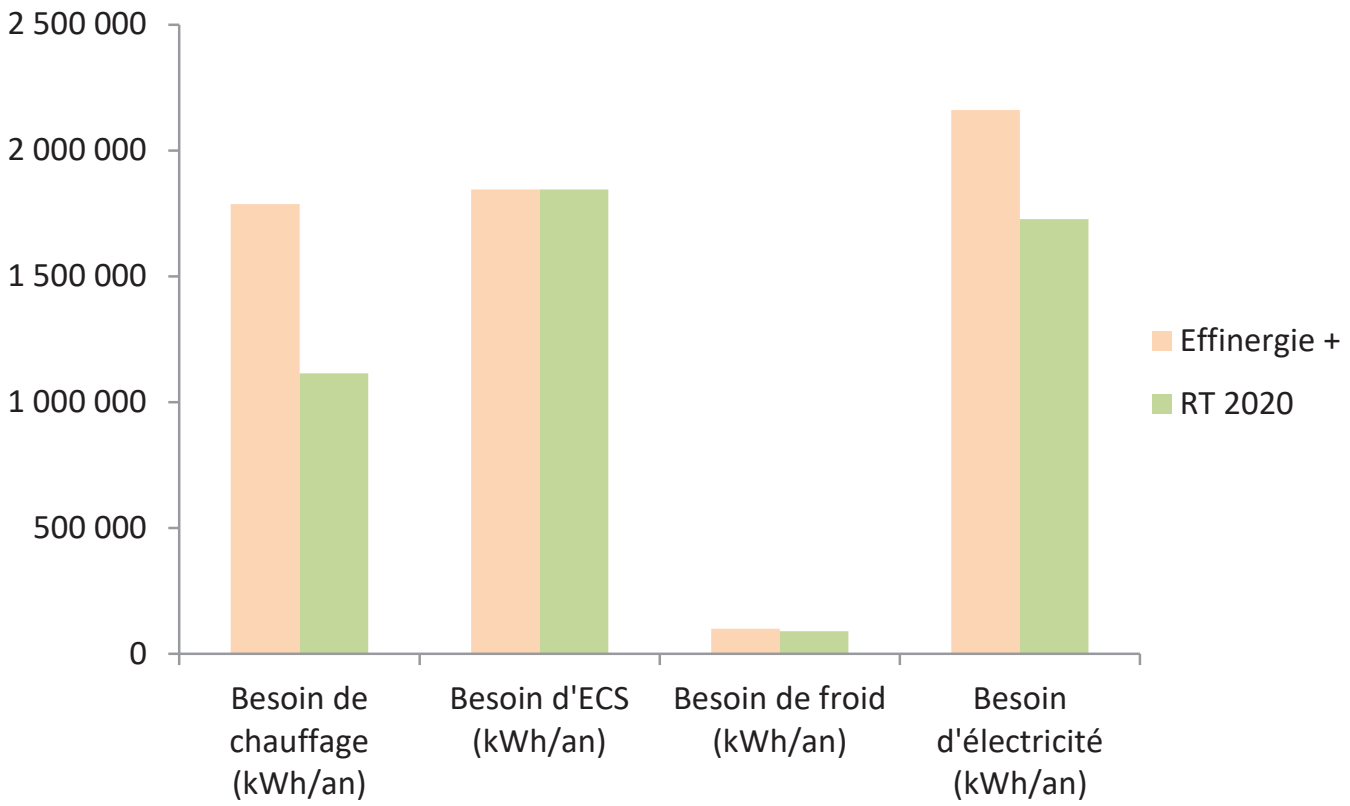


Figure 8. COMPARAISON DES SCENARIOS DE PERFORMANCE ENERGETIQUE

La stratégie énergétique dépend en grande partie des besoins énergétiques. La première étape d'une stratégie énergétique vertueuse est donc le limiter les besoins, avant de limiter les impacts liés à la production. L'anticipation de la RT 2020 permet de réduire de manière significative les besoins énergétiques du projet.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3. INVENTAIRE DU POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES

3.1. Les réseaux de chaleur

3.1.1. Création d'un nouveau réseau de chaleur

Dans le but de mutualiser les équipements de production de chaleur, il est possible d'implanter un nouveau réseau de chaleur au sein de la zone étudiée. Le seuil de rentabilité d'un réseau peut se mesurer à partir de la densité énergétique linéaire. En d'autres termes, lorsque les bâtiments raccordables sont suffisamment nombreux et rapprochés, il est possible d'envisager la création d'un réseau de chaleur économiquement viable. Cette pertinence se calcule ainsi de la manière suivante : *Besoin en chaud (chauffage, et éventuellement ECS) / longueur du réseau de chaleur.*

La viabilité de cet équipement est reconnue et donc soutenue financièrement par l'ADEME à partir de 1,5 MWh/ml/an. La densité thermique des réseaux de chaleur récents est quant à elle située entre 3 et 5 MWh/ml/an.

Compte-tenu des besoins énergétiques du quartier, la puissance de l'installation placera celle-ci dans la nomenclature des Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE à partir de 1 MW). La chaufferie devra donc être située dans un bâtiment dédié, d'après l'arrêté du 3 août 2018 relatif aux prescriptions générales applicables aux ICPE soumises à déclaration au titre de la rubrique 2910 : « *Les installations ne sont pas surmontées de bâtiments occupés par des tiers, habités ou à usage de bureaux, à l'exception de locaux techniques. Elles ne sont pas implantées en sous-sol de ces bâtiments ».*

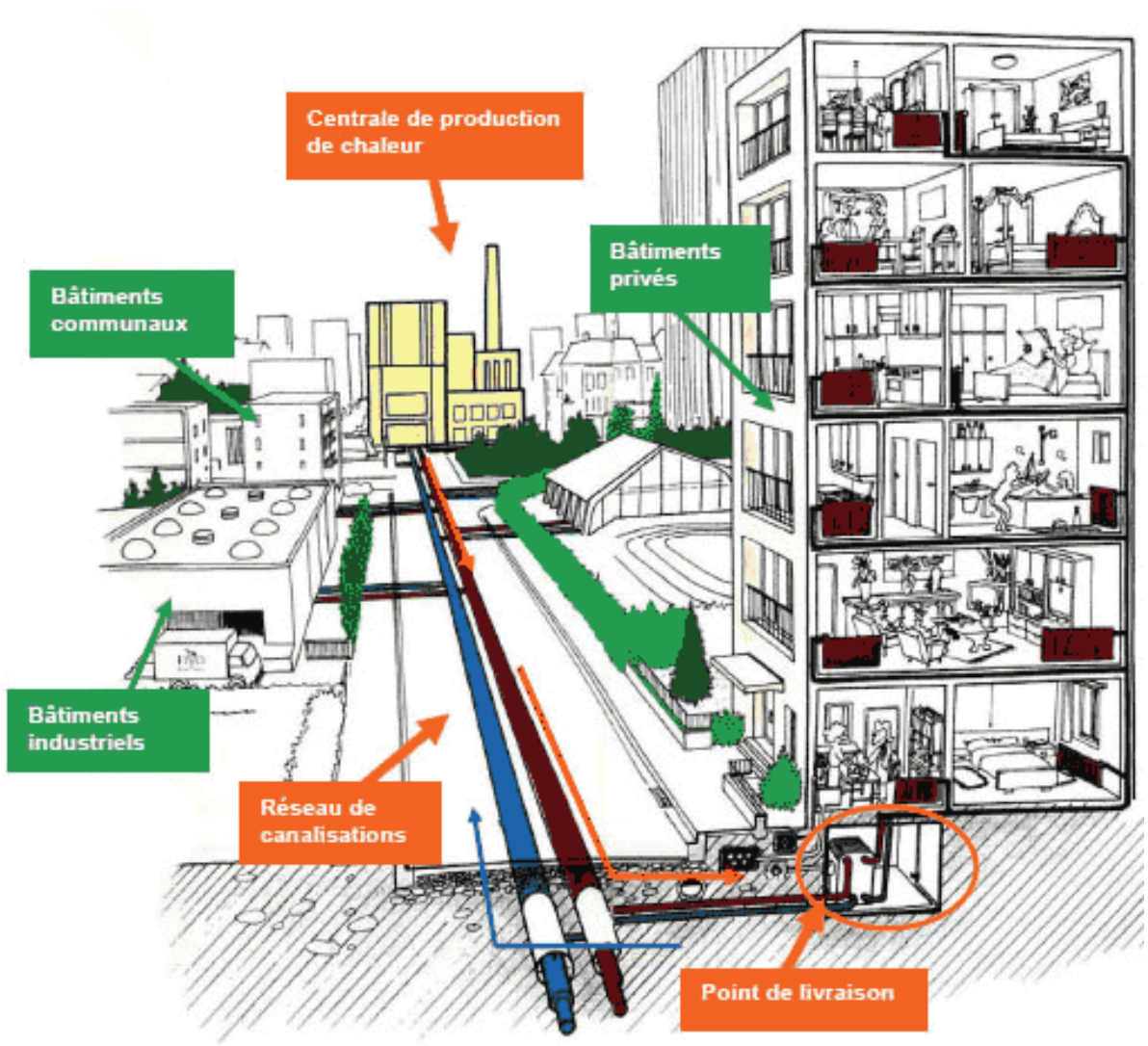


Figure 9. ILLUSTRATION DES PRINCIPAUX COMPOSANTS D'UN RESEAU DE CHALEUR

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Ainsi, il est possible de réaliser un tracé hypothétique et optimisé du réseau de chaleur. Cela permet notamment d'estimer la longueur du réseau. Le tracé est réalisé en concordance avec les lignes de voiries afin de mutualiser les travaux VRD. Les résultats figurent ci-dessous :

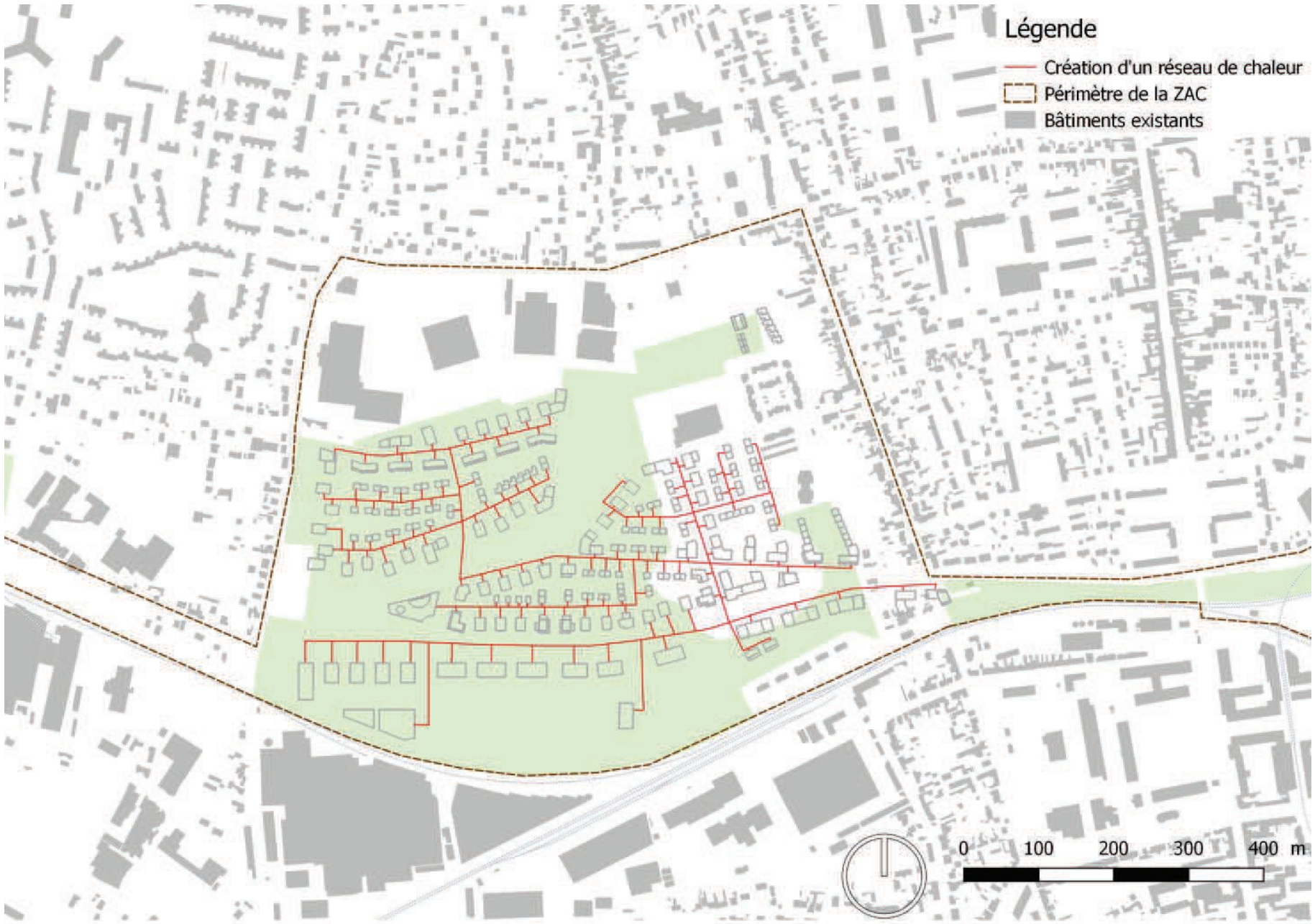


Figure 10. TRACE HYPOTHETIQUE D'UN RESEAU DE CHALEUR SUR LES GROUES

	Consommations de chaleur associées (MWh/an)	Linéaire de réseau (ml)	Densité énergétique (MWh/ml/an)
Scénario volontariste	3631	5233	0,7
Scénario exemplaire	2959	5233	0,6

Figure 11. CALCUL DE LA DENSITE ENERGETIQUE

La création d'un nouveau réseau de chaleur à l'échelle du projet n'apparait pas viable techniquement et économiquement compte-tenu de la faible densité énergétique, à cause d'une trop faible densité urbaine. De plus, en raison de la présence d'un réseau de chaleur existant et de sa chaufferie sur le site, la création d'un nouveau réseau de chaleur apparait très peu pertinente. En effet, d'un point de vue économique, l'investissement serait conséquent avec la nécessité d'installer une chaufferie neuve dans un nouveau bâtiment en comparaison avec le raccordement au réseau existant. Il est toutefois envisageable, dans le cas où le raccordement au réseau est irréalisable, de créer des micros réseaux de chaleur à l'échelle des lots.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.1.2. Réseau de chaleur existant : Le SODC

Un réseau de chaleur est situé à l'entrée du périmètre. Il est géré par la Société Orléanaise de Distribution de Chaleur (S.O.D.C), filiale de Cofely.

La chaleur produite par une centrale de cogénération fonctionnant au bois énergie dessert via un réseau de chaleur de 22 km l'équivalent de 12 000 foyers. La chaleur est produite à partir du bois à hauteur de 81 %, le complément étant assuré par du gaz. En plus de la production de chaleur, la centrale produit de l'électricité par cogénération.



Figure 12. RESSOURCES ET CHAUFFERIE DU RESEAU DE CHALEUR SODC (VIZEA D'APRES SODC)



Figure 13. CARTE DU RESEAU DE CHALEUR SODC (VIZEA)

Caractéristiques du réseau :

Le réseau délivre une énergie majoritairement renouvelable à partir de bois déchiqueté, l'appoint étant produit à partir de gaz naturel. L'approvisionnement de 110 000 tonnes par an de bois-énergie est réalisé dans un rayon de 150 km autour d'Orléans. D'un point de vue environnemental, cela permet d'éviter 47 000 tonnes de CO2 par an.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Le régime de fonctionnement en exploitation est le suivant :

Hiver : 145°C / 150 °C 14 Bars
Été : 100°C / 110°C 14 Bars

Les sous-stations sont équipées d'échangeurs eau/eau qui permettent de délivrer une température constante en sortie comprise entre 50°C à 105°C, à la convenance de l'abonné. L'échangeur est la propriété de la concession, et est donc entretenu et renouvelé par la SODC à ses frais. Il en est de même pour le réseau primaire. Seul le réseau secondaire est à la charge de l'abonné. Cela permet d'obtenir des économies de maintenance.

La densité thermique du réseau est satisfaisante avec une valeur de 3,16 MWh/ml.an.

La puissance souscrite correspond à la puissance nécessaire pour maintenir l'installation en température (eau et air) par -7°C extérieur, en ajoutant une surpuissance de 10% (pour permettre les montées en température). La contribution de l'abonné aux frais de raccordement s'élève à 160€/KW souscrit.

Les tarifs pratiqués par le réseau sont les suivants :

- Tarif proportionnel à la consommation R1 = 51.49 € HT / MWH
- Tarif proportionnel à la puissance souscrite R2 = 44.26 € HT / KW / an

Les deux tarifs bénéficient d'un taux de TVA réduit (5,5%) car le réseau délivre une énergie majoritairement renouvelable. Ces tarifs et leur évolution sont fixés par la collectivité dans le cadre du contrat de concession.

Le réseau de chaleur du SODC est présent sur le périmètre du site. Le raccordement représente donc un fort intérêt pour le projet afin d'intégrer une importante pénétration des énergies renouvelables à l'échelle du quartier. Les échanges avec l'opérateur du réseau concluent sur une faisabilité du raccordement. Cependant la densité énergétique et urbaine démontrée précédemment parait trop faible pour envisager que la totalité du quartier soit raccordée (exclusion des maisons individuelles par exemple). Ces problématiques devront être approfondies avec le délégataire du réseau de chaleur.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.2. La géothermie

3.2.1. Etude de la ressource et accessibilité

Il existe plusieurs types de géothermie, les différences sont principalement dues à la profondeur de la ressource, et donc à la température du gisement. Les nappes potentiellement présentes et les différents types de géothermie sont représentés sur le graphique suivant :

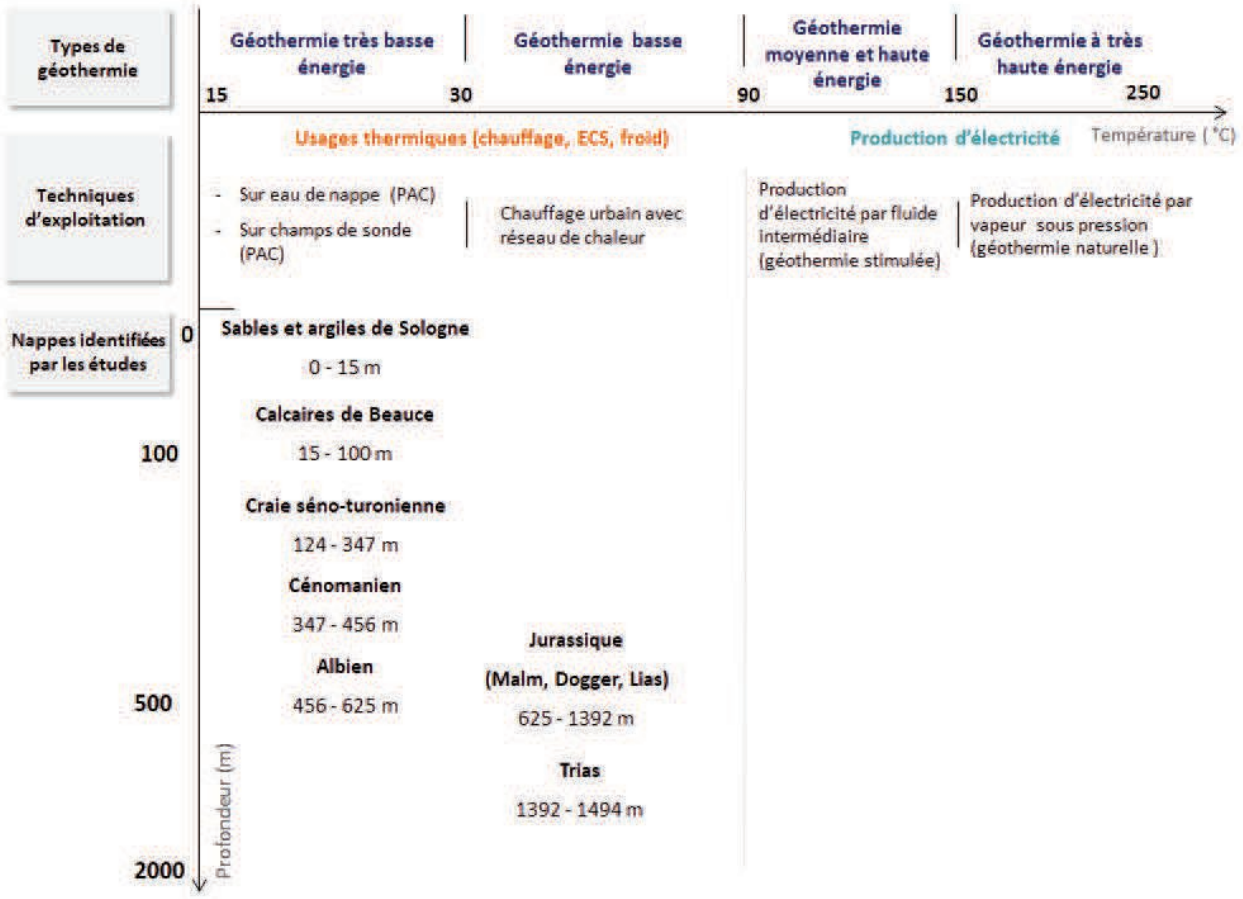


Figure 14. RESSOURCES GEOTHERMALES ET TYPES DE GEOTHERMIE (VIZEA D'APRES SEMA-DIREN CENTRE)

Le projet est traversé par un périmètre de protection des ressources en eau potable, ce qui impacte directement l'utilisation de la géothermie. Le captage concerné est celui de «la Pouponnière». Le site des Groues est situé dans le périmètre de protection éloignée. Ainsi, l'arrêté prefectoral du 19 avril 2006 précise que toute réalisation de forage au calcaire de Beauce doit être soumise à autorisation.

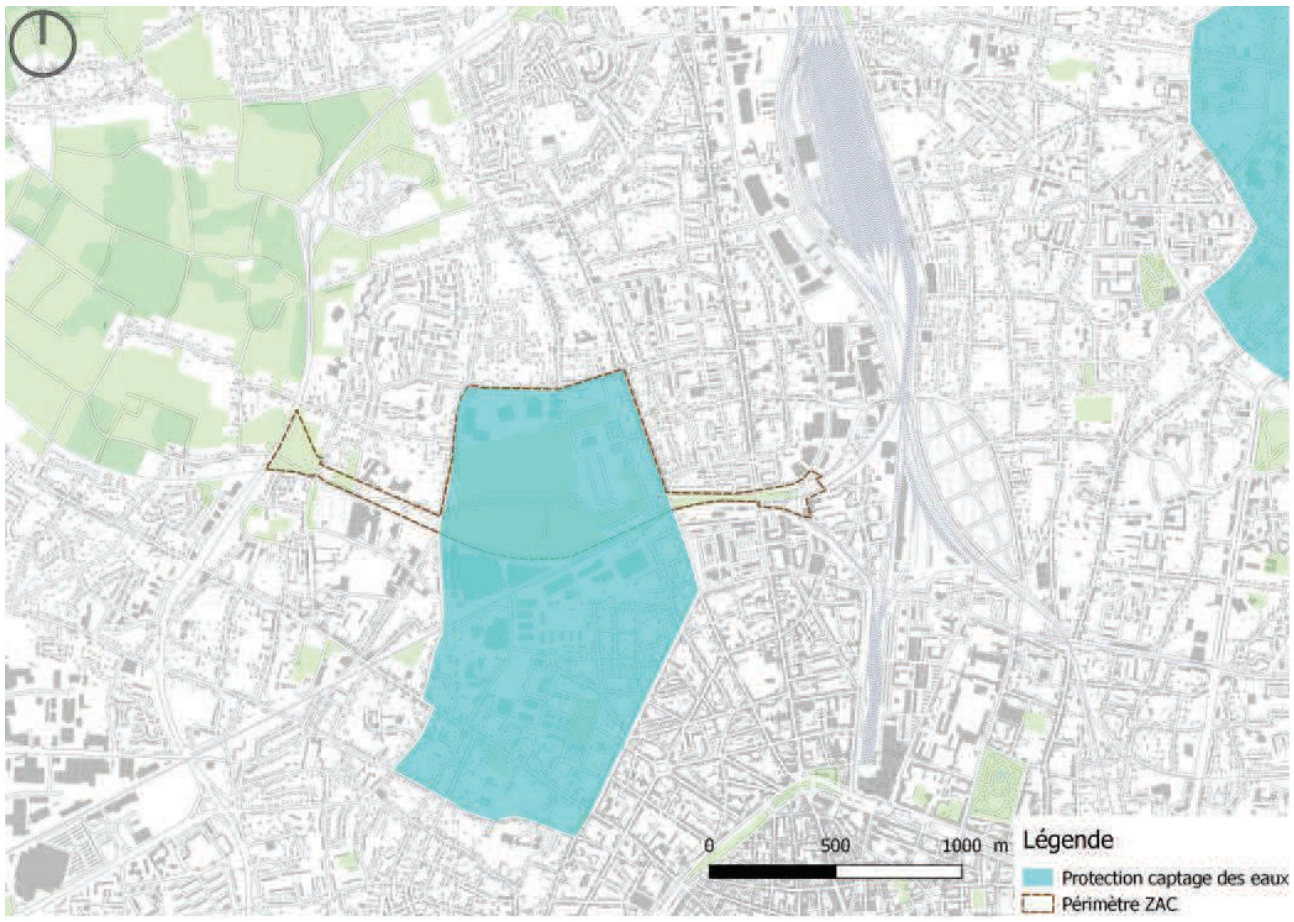


Figure 15. SERVITUDE DE PROTECTION DU CAPTAGE DES EAUX

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.2.2. Géothermie sur aquifère profond

La géothermie sur aquifère profond, ou géothermie basse énergie, repose sur l'utilisation directe de la chaleur de l'eau chaude contenue dans les aquifères profonds.

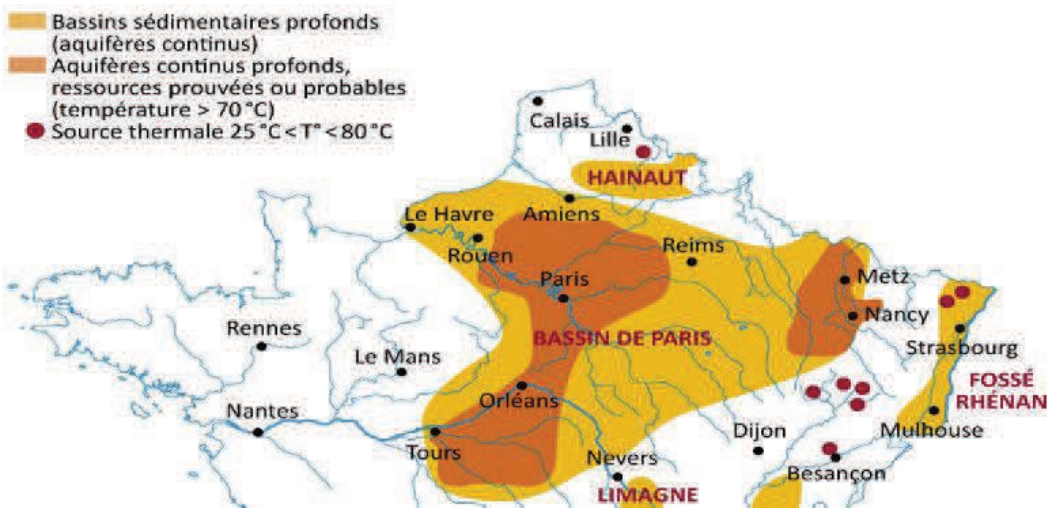


Figure 16. POTENTIEL DES AQUIFERES PROFONDS

De plus, les coûts d'investissement particulièrement importants de cette solution nécessitent des besoins de chaleur très élevés afin de rentabiliser les investissements de forage. La mise en place d'un réseau de chaleur alimenté en géothermie profonde présente un réel intérêt économique à partir de puissances mises en jeu de l'ordre de 10 MW.

Compte-tenu des besoins énergétiques, une solution d'aussi grande envergure n'est pas possible.

3.2.3. Géothermie sur nappe superficielle

Une pompe à chaleur (PAC) sur nappe superficielle vient puiser des calories et/ou frigories dans une nappe située à une profondeur généralement inférieure à 100 mètres du niveau du sol. Ce système est réversible et permet de produire du chaud et du froid. Deux aquifères superficiels sont présents sur le périmètre : le premier aquifère **Calcaires de Beauce** et le second aquifère **Craie séno-turonienne.**

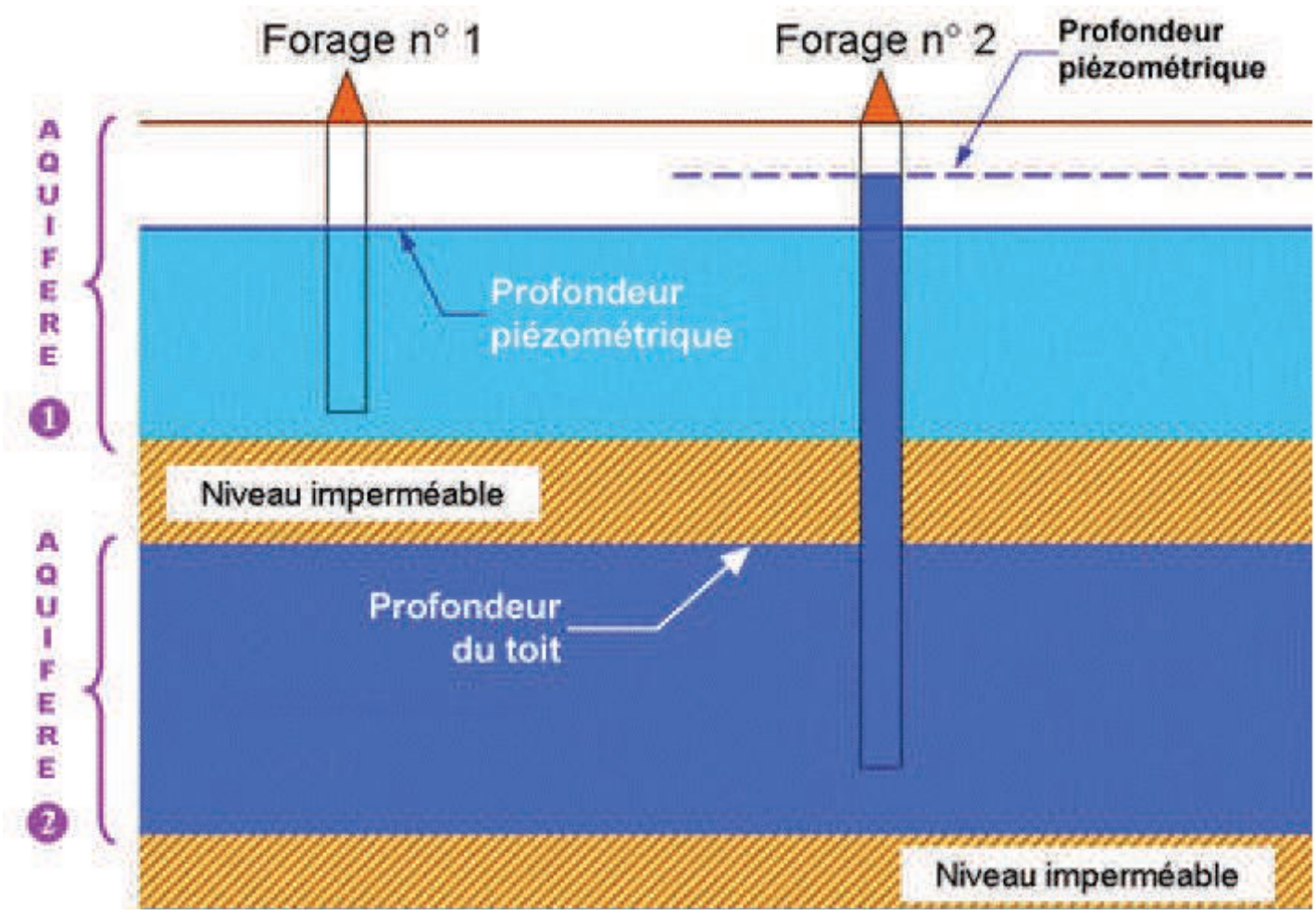


Figure 17. COUPE SCHEMATIQUE D'UN FORAGE SUR CHAQUE AQUIFERE (SOURCE : GEOTHERMIE-PERSPECTIVES)

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

La température des aquifères peu profonds en Centre-Val de Loire est comprise entre 10 et 15 °C. La carte ci-dessous indique que le site possède un fort potentiel pour la géothermie superficielle. Ce potentiel cartographié représente les caractéristiques du meilleur aquifère sur la zone, qui correspond au premier aquifère **Calcaires de Beauce.**



Figure 18. POTENTIEL DU MEILLEUR AQUIFERE (SOURCE : GEOTHERMIE-PERSPECTIVES)

Les caractéristiques des deux aquifères présents sur le terrain sont les suivants :

	Aquifère	Profondeur toit (m)	Épaisseur de la formation	Profondeur piézométrique (m)	Débit (m^3/h)	Potentiel
Aquifère 1	Calcaires de Beauce	7	63 m	33	33 - 73	Forte
Aquifère 2	Craie séno-turonienne	109	175 m	6	6 - 15	Faible

Figure 19. RESSOURCE GEOTHERMIQUE PAR NAPPE (SOURCE : GEOTHERMIE-PERSPECTIVES)

L'aquifère numéro 1 correspond en effet au meilleur aquifère car il dispose d'un fort potentiel tandis que le potentiel de l'aquifère 2 est faible. De plus, il est très peu profond avec une profondeur de toit de seulement 7 mètres contre 109 mètres pour la Craie Séno-turonienne. Enfin, les débits exploitables sont bien plus importants avec en moyenne entre 33 et 73 m^3/h pour l'aquifère Calcaires de Beauce. Deux forages proches du site permettent de confirmer la présence des calcaires à cette faible profondeur. Ce sont les forages 03636x0416/P et 03636x0073/FAEP, noté respectivement A et B.

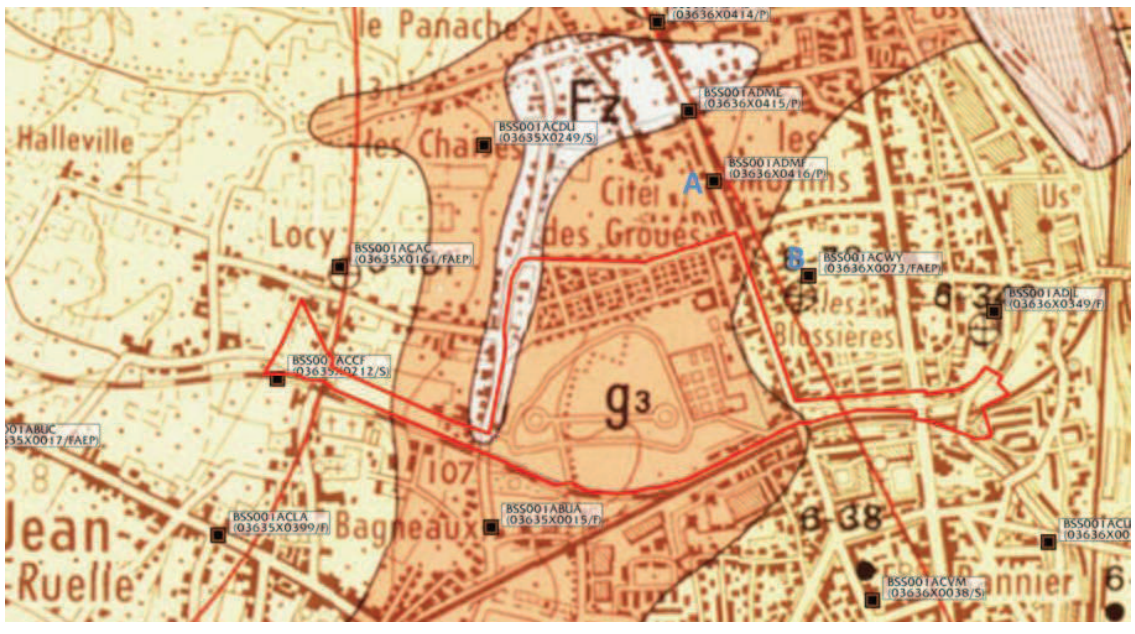


Figure 20. SONDAGES GEOLOGIQUES PROCHE DU PERIMETRE D'ETUDE (SOURCE : INFOTERRE)

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

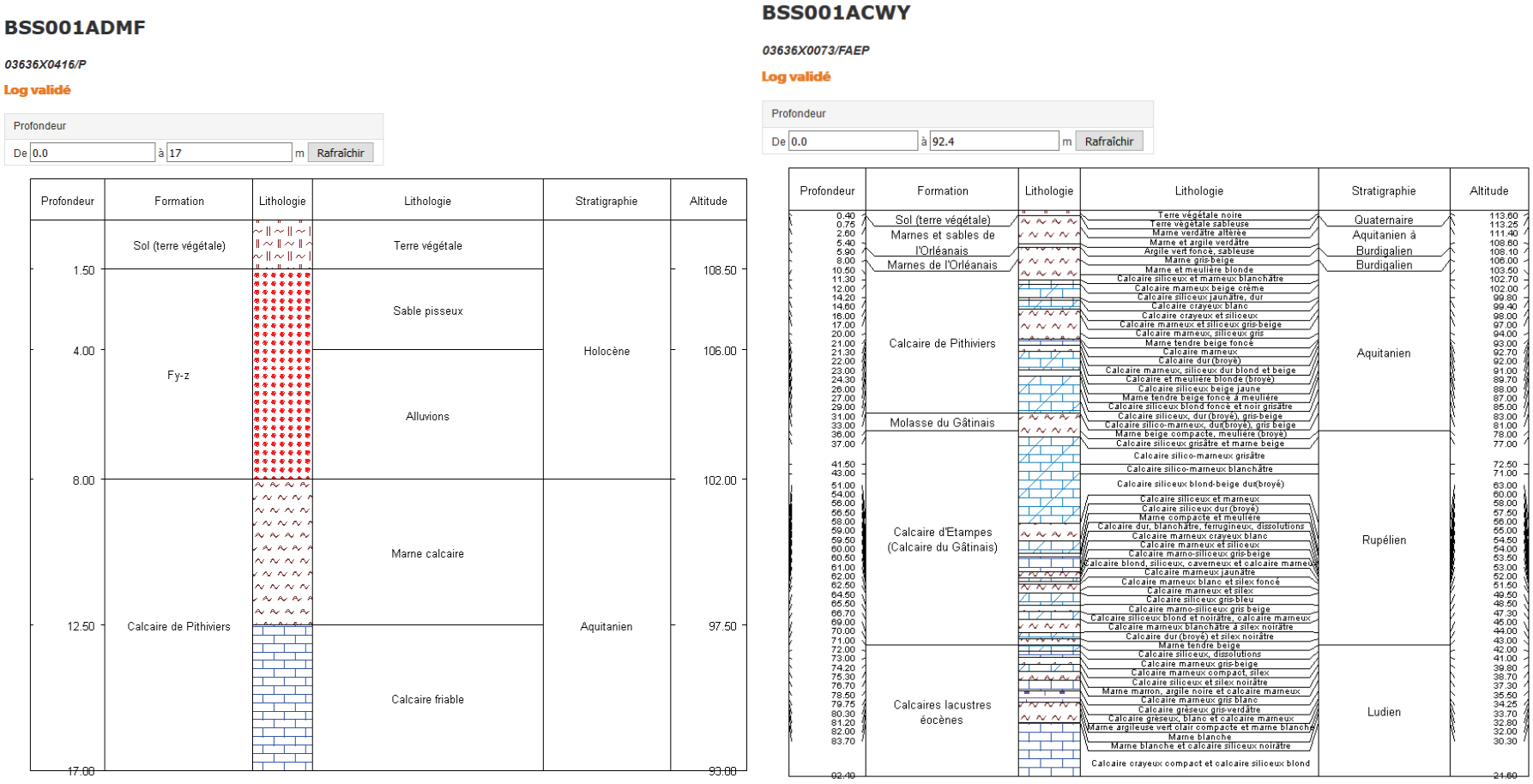


Figure 21. LOG GEOLOGIQUE DES SONDAGES A ET B (SOURCE : INFOTERRE)

L'étude d'impact précise que la nappe « *présente un mauvais état quantitatif, il y a donc un déséquilibre entre les prélèvements et la ressource (recharge annuelle). Cela est dû aux pompages très importants opérés sur la nappe pour les besoins en eau des cultures, avec pour conséquence notamment un déficit d'alimentation et des problèmes chroniques sur les rivières exutoires* ». Un projet sur cet aquifère devra donc être très sensible sur cet élément.

Le potentiel géothermique de l'aquifère Calcaires de Beauce permet d'espérer un débit disponible compris entre 33 et 73 m³/h, ce qui aboutit à une puissance moyenne de chauffage de 460 kW par doublet géothermique (pompage et réinjection). La faible profondeur de l'aquifère est un avantage considérable permettant de limiter les investissements. Cependant, de nombreuses contraintes s'imposent à la faisabilité du projet car le site se situe dans un périmètre de protection des eaux. La probabilité de conflit d'usage est également très forte en raison d'une nappe fortement exploitée et qui présente un mauvais état quantitatif.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.2.4. Sondes géothermiques

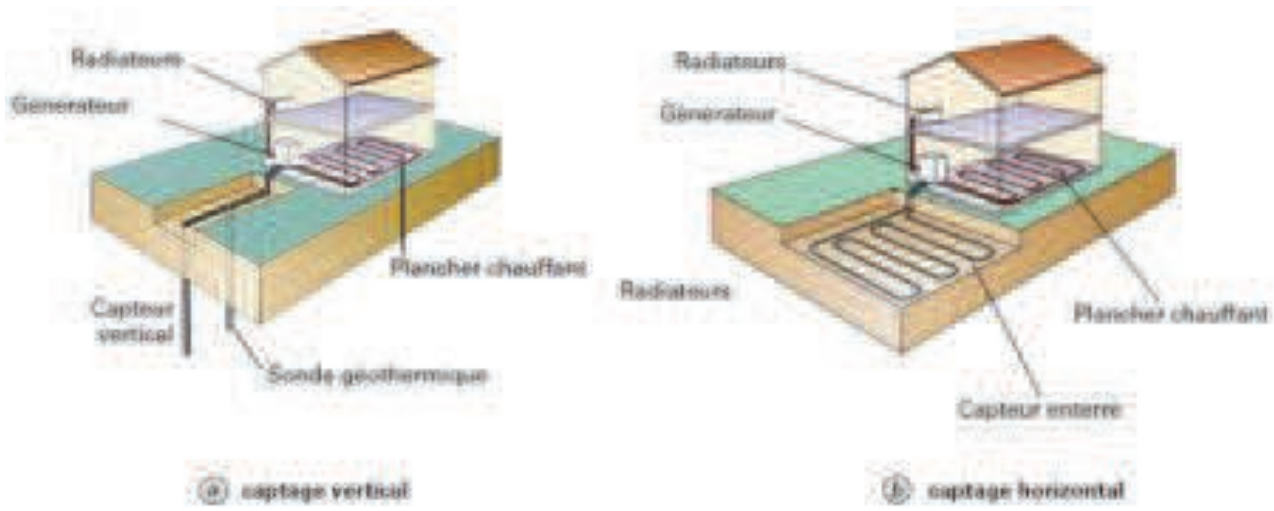


Figure 22. SCHEMA DE PRINCIPE DES SONDES GEOTHERMIQUES

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

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

Pour éviter un investissement important et des forages trop nombreux, on associe généralement ce système à une énergie d'appoint. Le recours à cette technologie constitue donc davantage une alternative de production énergétique qu'une source principale de production.

Il faudrait 92 sondes verticales d'une profondeur de 100 mètres pour disposer de la même puissance qu'un forage sur la nappe des Calcaires de Beauce. Les contraintes de protection et la présence d'un aquifère superficiel à faible profondeur rend cette technologie non pertinente pour le projet.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

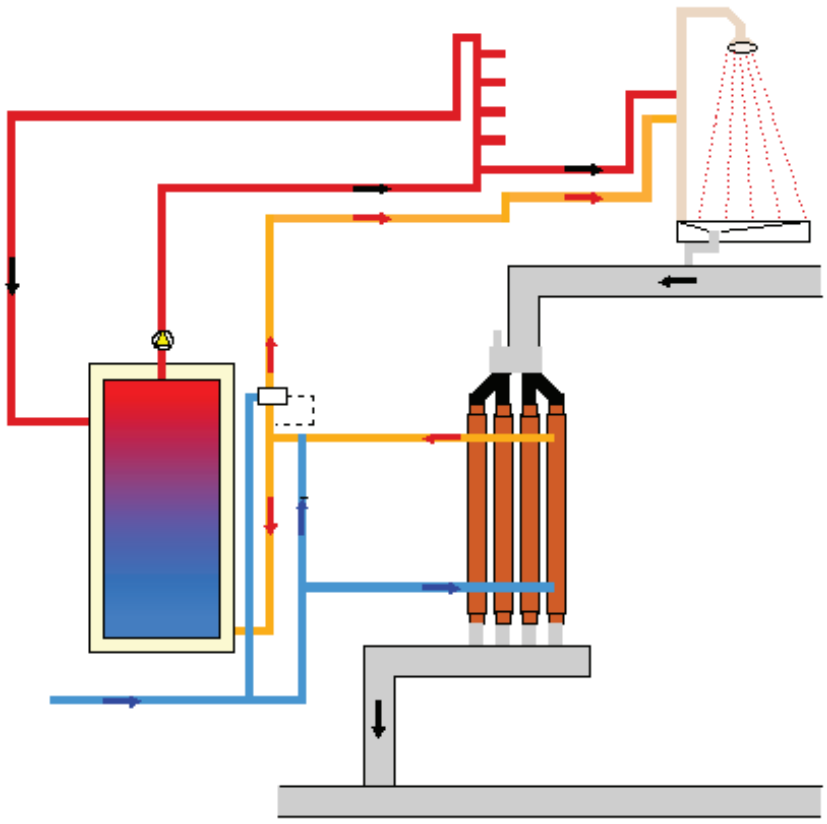
3.3. Les énergies de récupération

3.3.1. La récupération de chaleur sur eaux grises – Powerpipe

La récupération d'énergie via les eaux grises consiste à préchauffer l'eau froide destinée à l'ECS par un échange thermique avec les eaux grises évacuées. Ce dispositif passif permet une réduction de 20 à 30 % sur les consommations d'ECS. Il est particulièrement adapté aux logements collectifs avec une production centralisée de l'ECS.



Cette technologie possède un temps de retour de 3 à 6 ans suivant les caractéristiques des projets. La principale contrainte de ces solutions est qu'elle nécessite la séparation des réseaux d'eaux vannes et d'eaux grises. Elle doit donc être considérée dès la conception des bâtiments.



Ce système est tout à fait adapté pour les logements collectifs ayant une densité de besoins suffisante et un système de production collectif.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.3.2. La récupération de chaleur sur eaux grises – Biofluides ERS

La technologie consiste à récupérer la chaleur à la source sur des eaux grises à température encore élevée dans des bâtiments de taille significative ou ayant une forte consommation d'eau. La séparation avec les eaux vannes doit donc être effectuée. Les eaux usées arrivent dans une cuve centrale. À l'intérieur de cette cuve sont placés des échangeurs dans lesquels circule un fluide caloporteur. Le filtre retient les plus grosses particules dans la cuve et une pompe déverse quotidiennement les résidus accumulés dans la cuve vers le collecteur. Les calories captées sont dirigées vers la pompe à chaleur qui produit de l'eau chaude sanitaire à 58°C. Cette eau chaude sanitaire est ensuite acheminée vers le ballon de stockage.

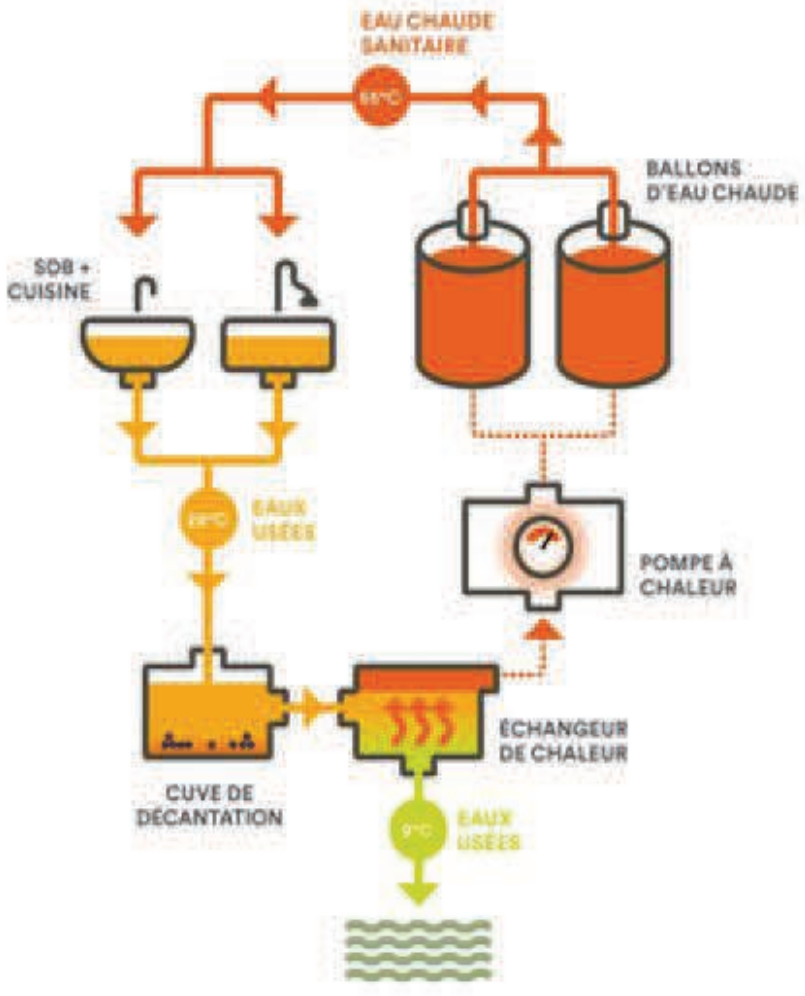


Figure 23. SCHEMA DE PRINCIPE DE LA TECHNOLOGIE BIOFLUIDES ERS

Du point de vue technique, le potentiel de puissance thermique se situe entre 50 et 300 kW. La solution atteint en moyenne un taux d'énergie renouvelable de 60% et peut répondre jusqu'à 100% des besoins en ECS. L'emprise foncière des installations de récupération est comprise entre 15 à 25m².

Tout comme le système Powerpipe, cette technologie s'applique aux bâtiments avec de forts besoins en ECS et disposant d'un système de production collectif. Il se démarque par une importante couverture des besoins d'eau chaude mais également avec des contraintes foncières et d'investissement dans des systèmes actifs (pompe à chaleur).

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.3.3. La récupération de chaleur sur eaux usées

Cette ressource possède des avantages intéressants puisqu'il s'agit d'une source d'énergie locale, disponible et continue tout au long de l'année. C'est la seule énergie qui croit avec le développement économique du territoire : plus le nombre d'habitants augmente, plus le potentiel de la ressource est important.

Les eaux usées ont une température moyenne comprise entre 10 °C et 20 °C lors de leur évacuation (selon la région considérée et les saisons). Issues principalement des cuisines, salles de bains, lave-linge et lave-vaisselle, les calories des eaux usées peuvent être utilisées pour le chauffage ou le refroidissement des bâtiments. Fonctionnant sur le même principe qu'une VMC double flux pour l'air, un échangeur thermique permet de récupérer les calories dans les canalisations d'évacuation et de les transférer aux bâtiments via une pompe à chaleur. Il est possible de récupérer la chaleur contenue dans les eaux usées suivant deux concepts : sur le réseau d'assainissement ou en sortie d'une station d'épuration des eaux.

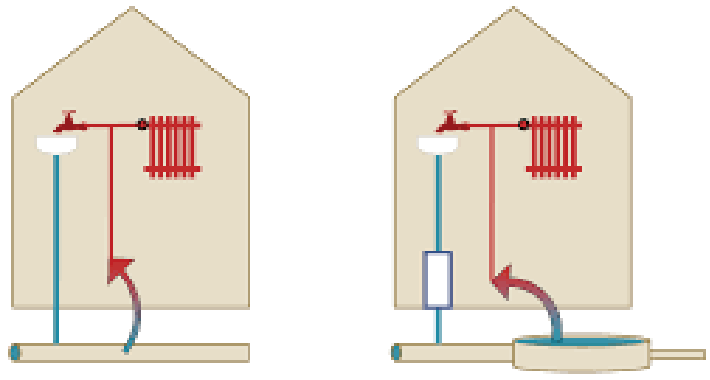


Figure 24. SOLUTIONS TECHNIQUES POUR RECUPERER LA CHALEUR DES EAUX USEES

1) Sur le réseau d'assainissement

Cette solution récupère les calories des eaux vannes et eaux grises sans recourir à un prétraitement. Elle met en œuvre des échangeurs intégrés au réseau de collecte ou déportés.

Cette énergie possède différentes contraintes : le collecteur doit avoir un important diamètre, il doit être linéaire et non coudé sur une longueur suffisante et doit disposer d'un débit d'eaux usées suffisant. Il faut également vérifier les conséquences sur le fonctionnement de la STEP et le processus d'épuration, qui peut être perturbé par l'abaissement de la température en sortie de l'échangeur.

Cette technologie peut alimenter un réseau de chaleur ou des bâtiments individuellement. Un projet adéquat se caractérise par des besoins en chauffage supérieurs à 800 MWh. Les utilisateurs de la chaleur doivent être à proximité du réseau d'eaux usées. Pour une optimisation optimale, les circuits de chauffage et d'ECS doivent être en basse température. Quant à l'échangeur, il dispose d'une durée de vie de 30 ans.

<u>1. a) Réalisation d'un échangeur thermique intégré au réseau (in-situ)</u>

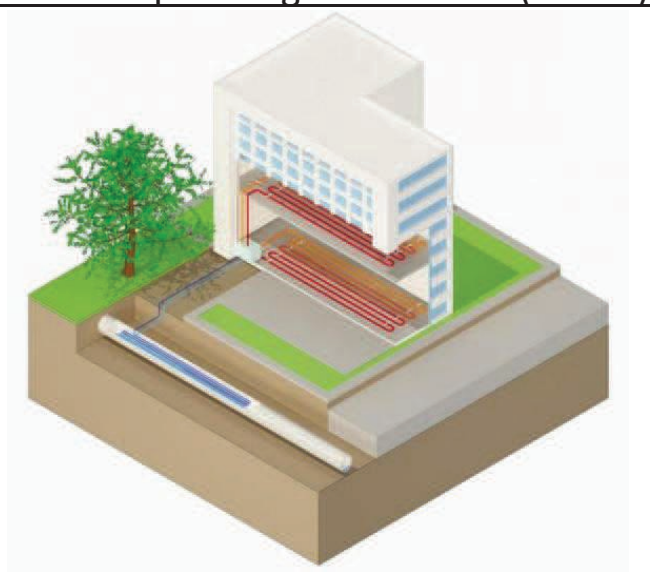


Figure 25. PRINCIPE DE LA RECUPERATION DE CHALEUR SUR UN COLLECTEUR AVEC ECHANGEUR INTEGRE

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

L'échangeur peut être soit ajouté dans les canalisations existantes, soit directement intégrés dans les canalisations neuves lors de leur fabrication. Sur de l'existant, la fixation de l'échangeur au radier du collecteur entraine une perte de section et une modification du profil hydraulique.

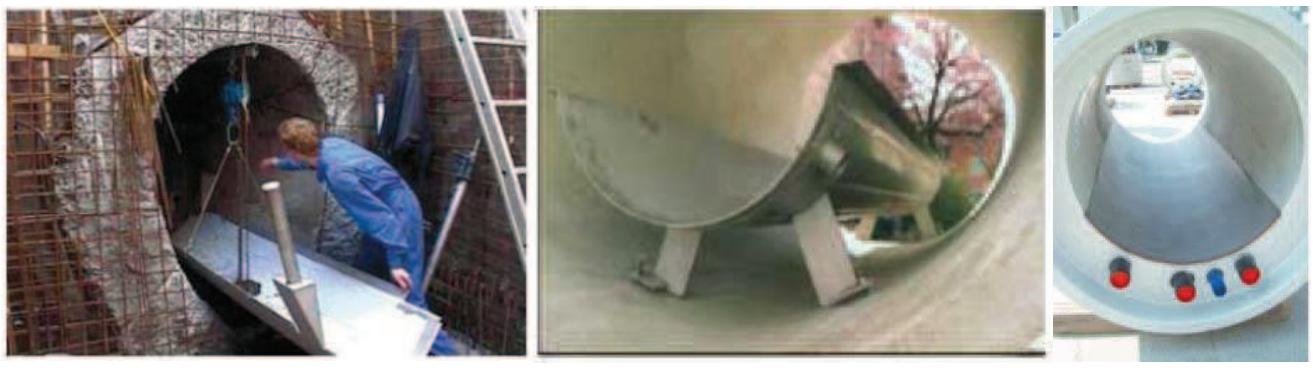
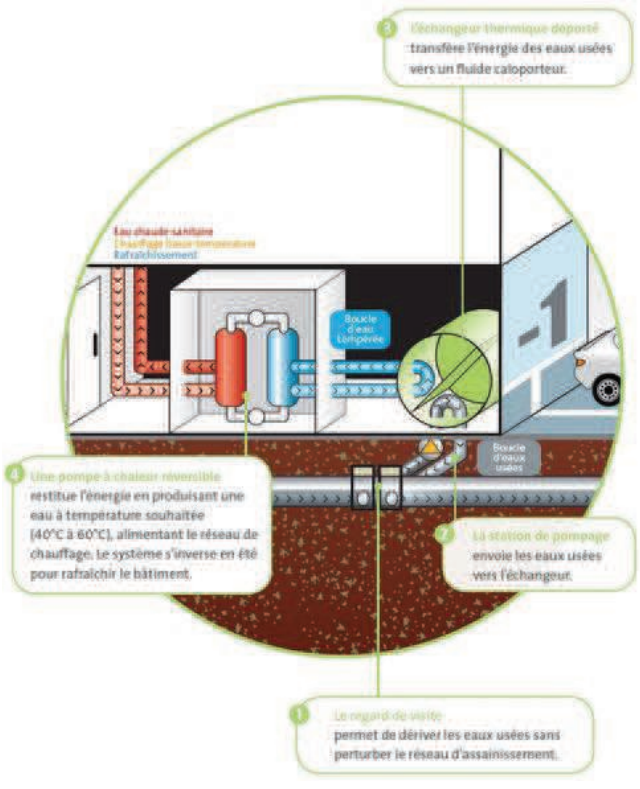


Figure 26. AJOUT DE L'ECHANGEUR DANS LES CANALISATIONS EXISTANTES ET ECHANGEURS INTEGRES DANS LE NEUF

Les conditions minimales nécessaires à la mise en place de ce type de solution énergétique sont :

- un débit supérieur ou égal à 15 l/s,
- une distance entre le réseau d'eaux usées et les locaux à chauffer limitée à 200 - 300 m,
- pour les réseaux existants, un diamètre de collecteur supérieur ou égal à 800 mm,
- pour les réseaux neufs, un diamètre de collecteur supérieur ou égal à 400 mm.

1.b) Réalisation d'un échangeur déporté (ex-situ)



Une configuration déportée dispose de plusieurs avantages : l'indépendance à la géométrie du collecteur, une performance thermique optimale et une meilleure accessibilité pour la maintenance. De plus, cette configuration ne perturbe pas le bon fonctionnement du système d'assainissement.

Figure 27. PRINCIPE DE LA RECUPERATION DE CHALEUR SUR UN COLLECTEUR AVEC ECHANGEUR DEPORTE (SOURCE : VEOLIA)

2) En fin de parcours sur la STEP

Cette configuration récupère les calories des eaux épurées, en amont de leur rejet vers le milieu naturel. La chaleur peut ainsi être utilisée pour les besoins internes de la STEP et/ou pour des utilisateurs à proximité. La récupération est plus simple et les eaux usées peuvent être davantage refroidies. Le potentiel de puissance est très important puisqu'il peut atteindre jusqu'à 20 MW. Le principal risque est que souvent, la STEP est éloignée des utilisateurs de chaleur, ce qui entraine d'importantes pertes d'énergie. La récupération est intéressante lorsque la STEP traite les eaux d'environ 5000 équivalent-habitants.

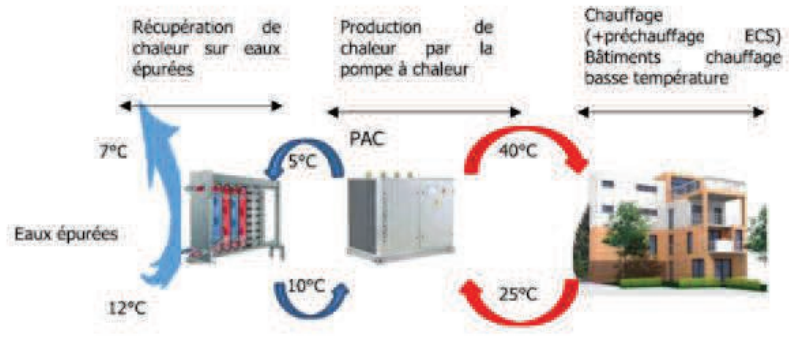


Figure 28. PRINCIPE DE LA RECUPERATION DE CHALEUR EN SORTIE DE STEP

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Analyse du potentiel :

Le réseau d'eaux usées d'Orléans ne dessert que les bâtiments au nord-est du secteur. Il n'est donc pas encore présent sur la totalité du périmètre. Cependant, la mixité de typologie et les faibles besoins énergétiques ne laissent pas présager une possible récupération de chaleur sur le réseau d'eaux grises.



Figure 29. RESEAU D'EAUX USEES (SOURCE : PLU ORLEANS)

On dénombre 6 stations d'épurations sur le territoire. La station la plus proche se trouve à 6 km du site à vol d'oiseau. L'éloignement est trop conséquent pour envisager une possible récupération de chaleur en sortie de STEP.

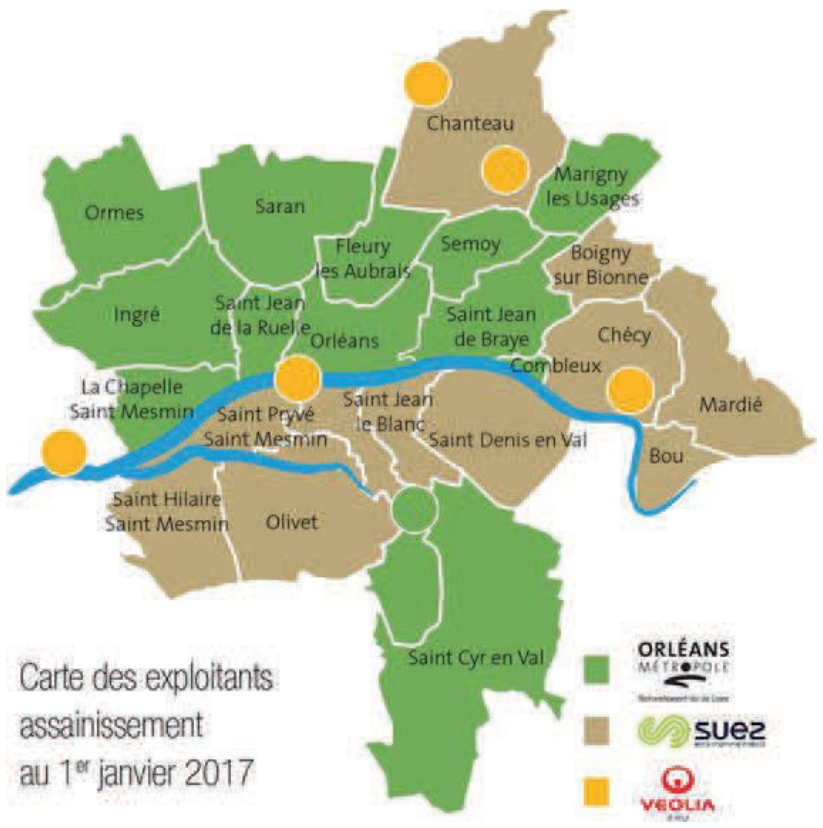


Figure 30. EMPLACEMENT DES STATIONS D'EPURATIONS (SOURCE : ORLEANS METROPOLE)

La récupération de chaleur sur les canalisations d'eaux usées est irréalisable à ce stade de l'étude urbaine. Les STEP présentes sur le territoire sont trop éloignées pour envisager une récupération de chaleur.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.3.4. La chaudière numérique

Il est possible de couvrir les consommations d'eau chaude sanitaire en mettant en œuvre une « chaudière numérique ». Cette solution très innovante, s'avère être simple et responsable, car elle valorise l'énergie fatale dégagée par des serveurs informatiques pour préchauffer l'eau chaude sanitaire à hauteur de 30% à 60%.

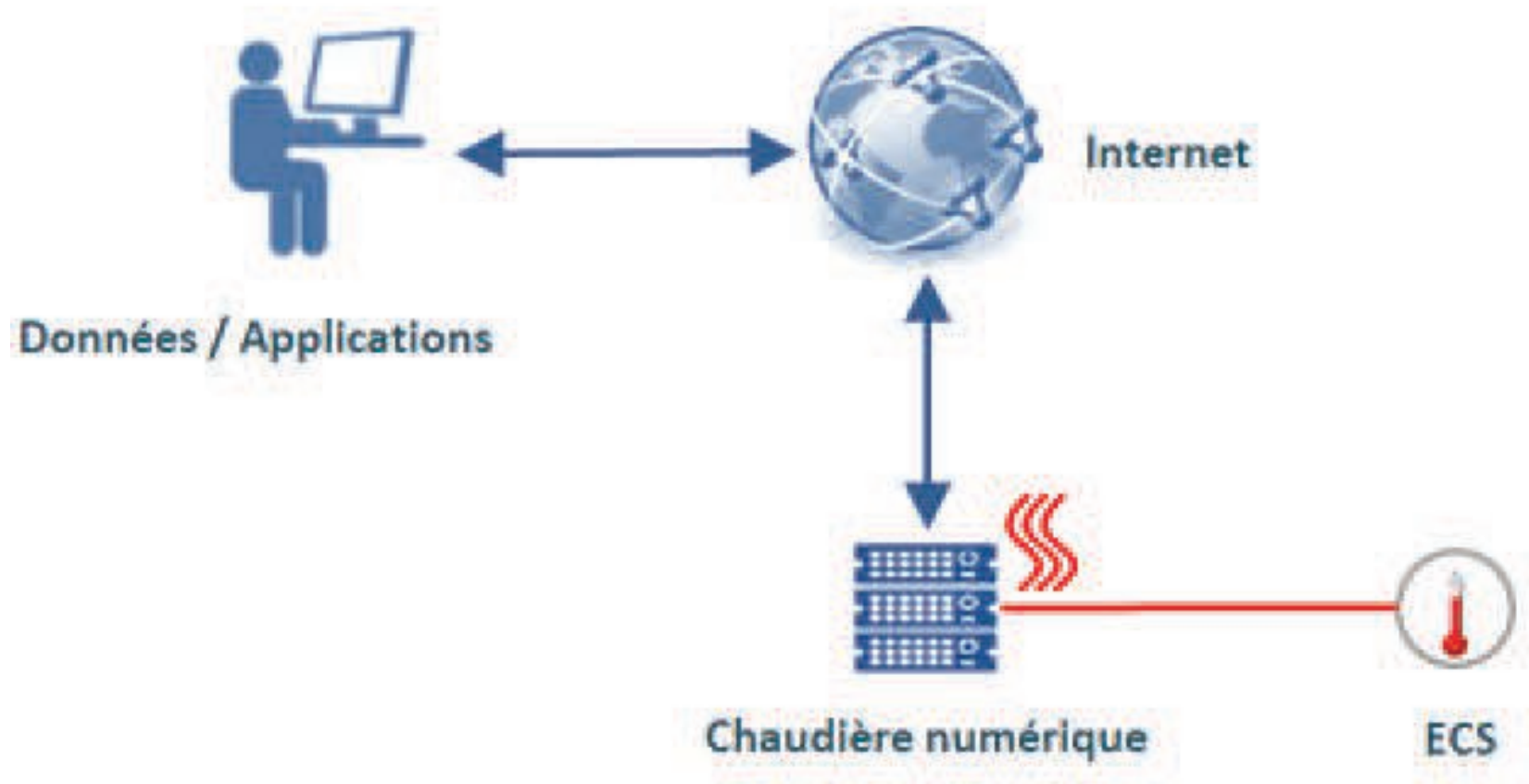


Figure 31. SCHEMA DU FONCTIONNEMENT DE LA CHAUDIERE NUMERIQUE (SOURCE : VIZEA)

Les sociétés commercialisant le produit se préoccupent donc d'héberger des données sur disques durs dans une « boite » à l'intérieur même de la chaufferie. La chaleur ainsi dégagée est récupérée et acheminée vers un ballon de stockage.

La sécurité et la maintenance de l'installation sont assurées en direct. Le réseau secondaire, en sortie de chaufferie est traditionnel avec une distribution des logements via les gaines techniques, avec individualisation des charges. Ainsi, à l'image d'un réseau de chaleur, la chaudière numérique offre l'avantage de fournir une quantité de chaleur annuelle garantie de manière contractuelle.

Les prérequis pour l'installation de cette solution sont :

- Un local aux normes chaufferie
- Une hauteur sous plafond minimum de 2.20m
- Un préparateur ballon ECS pour collectif
- Un système de ventilation haute et basse
- Une résistance au sol supérieure à 500Kg/m²
- Une arrivée hydraulique pour connecter l'échangeur
- Une arrivée électrique depuis un point de livraison dédié à la salle serveurs
- Un lieu d'implantation éligible à la fibre et une réservation câblage pour la fibre numérique

Cette solution innovante est particulièrement intéressante pour réduire la consommation en ECS, qui est indépendante de la performance du bâti. Ce dispositif convient aux collectifs de plus de 20 logements équivalents et s'adapte pour des bâtiments allant jusqu'à 80 logements équivalents.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.3.5. La récupération de chaleur fatale industrielle

La chaleur fatale industrielle est issue de de process d'activité, relevant de la cogénération, du fonctionnement de tours aéroréfrigérantes, de compresseurs, de fours, de fumée, d'incinération ou encore de réacteurs. Les gisements Haute Température (HT) sont les plus propices pour la valorisation sous forme de réseaux de chaleur, tandis que les gisements Basse Température (BT) sont plus difficilement valorisable via des réseaux de chaleur, pour des raisons techniques, sauf éventuellement sur constructions neuves. Ils peuvent cependant être valorisés sur des constructions à proximité.

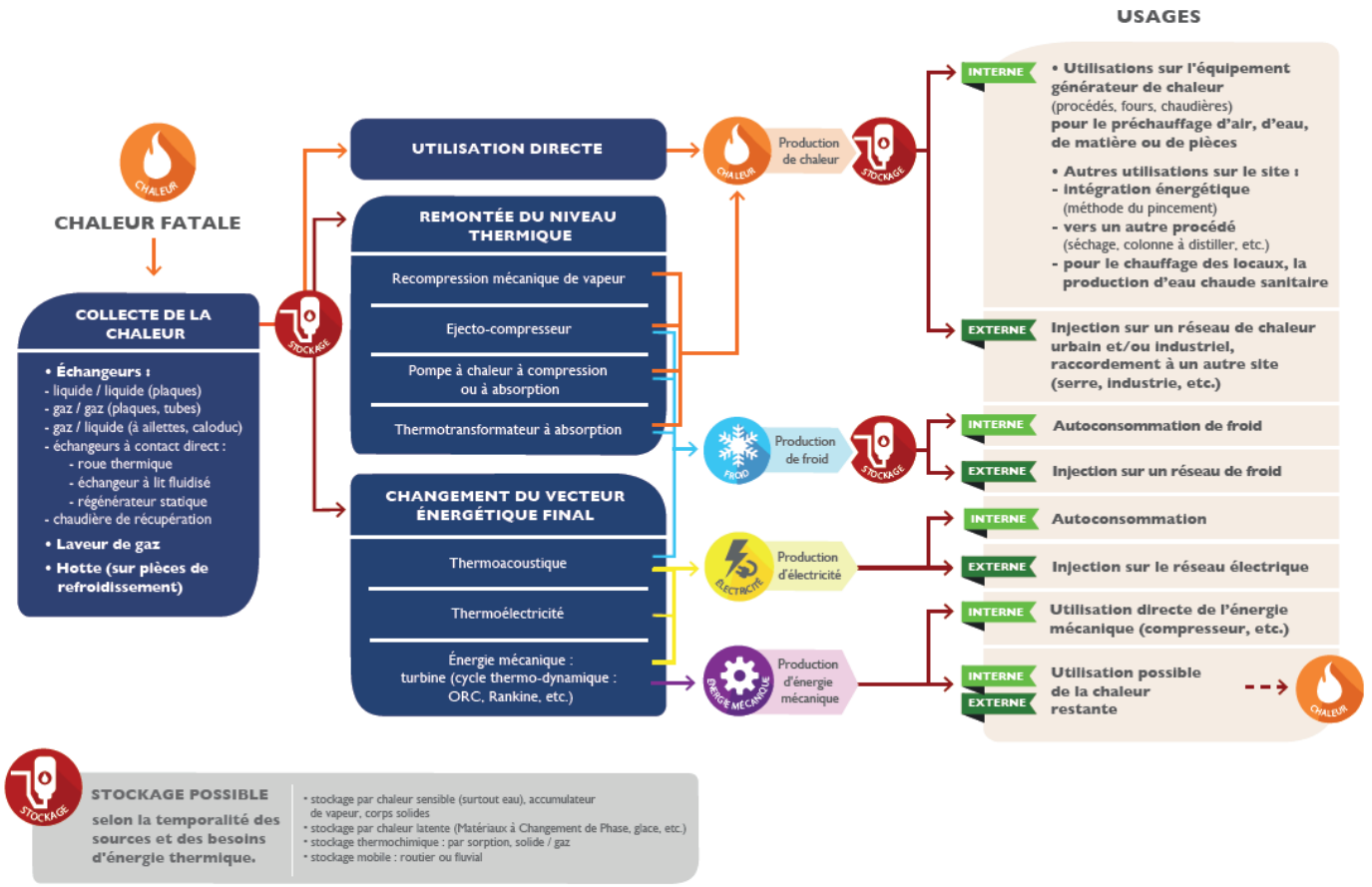


Figure 32. PRINCIPES ET USAGES DE LA RECUPERATION DE CHALEUR FATALE (SOURCE : ADEME)

Les industries situées à moins de 2 km peuvent relever d'une opportunité pour la récupération de leur énergie fatale si elles raccordent des consommateurs sur le tracé linéaire du réseau. Au-delà de 2 km, les pertes de chaleur sont jugées trop importantes pour envisager un raccordement. *Le diagnostic des productions d'énergies renouvelables actuelles et du potentiel de mobilisation local de juillet 2017* pour la Métropole d'Orléans a identifié un gisement d'énergie renouvelable sur récupération de chaleur fatale de 513 GWh sur la Métropole.

Industrie	Commune	Potentiel valorisable HT (GWh)	Potentiel valorisable BT (GWh)
CEISA PACKAGING	Saint-Cyr-en-Val		1.4
POLYTECH'ORLEANS (ex ESEM)	Orléans		8.3
PRODIA SAS	Fleury-les-Aubrais		8.3
GEMEY MAYBELLINE	Ormes	1.2	
FAMAR ORLEANS SAS	Orléans	1.3	
DIOR (Parfums Christian)	Saint-Jean-de-Braye	1.6	
CHRO LA SOURCE	Orléans	2.1	
MAINGOURD	La-Chapelle-Saint-Mesmin	2.1	11.0
THERMOR PACIFIC	**Saint-Jean-de-la-Ruelle**	**81.2**	
FEDERAL MOGUL	**Orléans**	**366.6**	
CGES (Cie Générale d'Eau de Source)	Orléans		1.3
MOY PARK BEEF ORLEANS (ex MC KEY)	Fleury-les-Aubrais		3.6
DURALEX INTERNATIONAL	La-Chapelle-Saint-Mesmin		5.0
CARGILL FOODS FRANCE	Saint-Cyr-en-Val		5.6
TRADIVAL	Fleury-les-Aubrais		12.6
TOTAL		***456.1***	***57.1***

Figure 33. BILAN DES GISEMENTS HT ET BT POTENTIELLEMENT VALORISABLES PAR LES INDUSTRIES DU TERRITOIRE

L'industrie Thermor Pacific dispose d'un fort potentiel valorisable (81.2 GWh) et se trouve à moins de 500 mètres du site. Cette option nécessite la création d'un réseau de chaleur qui ne peut être restreint au périmètre d'étude. Le potentiel peut également alimenter le réseau de chaleur existant.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.3.6. La récupération de chaleur sur groupe froid

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



Figure 34. EXEMPLE DE RECUPERATION DE CHALEUR SUR GROUPE FROID (SOURCE : RIDEL ENERGY)

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

Cela implique néanmoins une proximité immédiate entre les besoins de froid et les besoins d'ECS. La faisabilité est donc fonction de la programmation et des besoins en froid des activités.

La très forte prépondérance des logements dans la programmation a pour conséquence un besoin en froid relativement négligeable. Ainsi, cette solution n'est pas pertinente à l'échelle du secteur. Elle peut toutefois être envisagée au cas par cas dans les bâtiments tertiaires ou les commerces disposant de cette configuration.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.4. Le bois-énergie

Le bois énergie est la source renouvelable la plus utilisée en France. Les solutions techniques ont fortement évolué, ce qui a eu pour conséquence l'automatisation des chaudières fonctionnant à la plaquette forestière ou aux granulés. Ce sont à présent des chaudières autonomes à haut rendement, qui régulent, ne fument pas et produisent peu de cendres.

3.4.1. La ressource

Le *diagnostic des productions d'énergie renouvelable actuelles et du potentiel de mobilisation local* apporte plusieurs éléments quantitatifs sur la ressource bois énergie sur le territoire. Le potentiel de production associé aux forêts facilement exploitables de la Métropole est estimé à environ 80 GWh minimum en considérant les contraintes environnementales et à 96 GWh maximum sans prise en compte des contraintes. Le gisement sur un périmètre élargi constitue une augmentation non négligeable car des espaces forestiers conséquents sont recensés à proximité dont notamment :

- la forêt domaniale d'Orléans, à proximité immédiate au nord-est de l'agglomération, d'une superficie d'environ 50 000 hectares ;
- le parc de la Sologne, au sud de l'agglomération, et qui s'étend au total sur environ 500 000 hectares.

En 2014, 1 760 500 m3 rond de bois ont été récoltés en région Centre, dont 464 508 m3 pour le bois-énergie. Parmi cette récolte de bois-énergie environ 99 500 m3 a été faite sur le département du Loiret, qui arrive en tête avec le département de l'Indre-et-Loire. L'Observatoire régional Arbocentre estime que l'approvisionnement "professionnel" de bois bûche représente 20% de la récolte. Ainsi, la récolte totale de bois est évaluée à environ de 3 065 000 m3. La production biologique de la forêt est de 5,7 millions de m3/an en région Centre. Arbocentre estime ainsi que c'est 54% de ce qu'a produit la forêt qui a été récolté en 2014. Cela signifie donc qu'un peu moins de la moitié de la production forestière reste exploitable et constitue un gisement inexploité à ce jour.

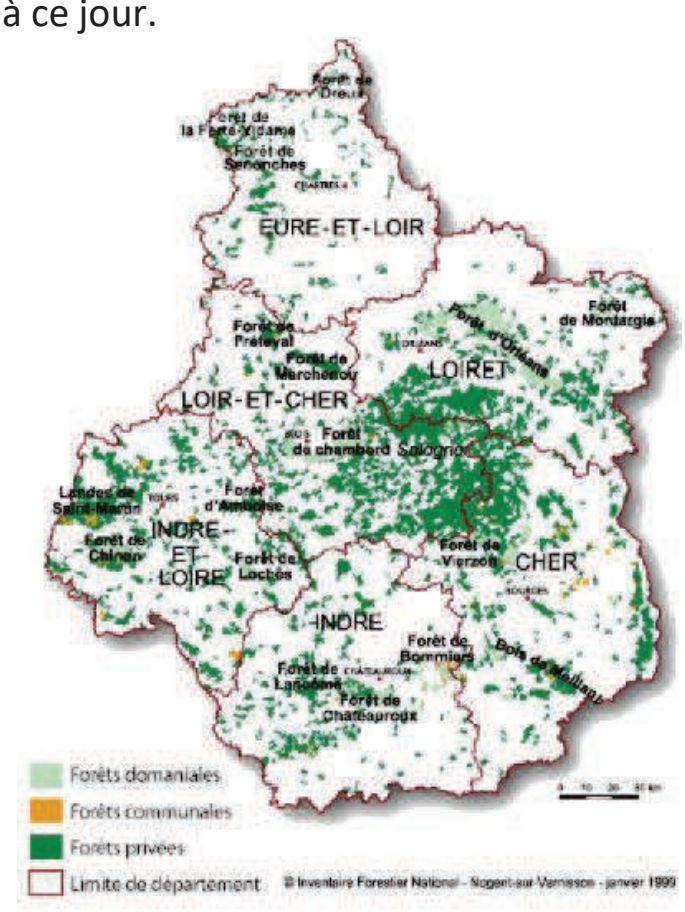


Figure 35. MASSIFS FORESTIERS EN REGION CENTRE

Le potentiel limité à la métropole est suffisant pour approvisionner le projet en bois-énergie mais il nécessite une structuration de la filière. La ressource à l'échelle de la région est conséquente avec de nombreuses sources d'approvisionnement, dont certaines alimentent les réseaux de chaleur d'Orléans.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.4.2. Conditions de mise en œuvre des projets bois-énergie

Lorsque la puissance de chaud est supérieure à 200 kW, il devient nécessaire d'adopter le principe de la bi-énergie et de sous-dimensionner les chaudières bois. Ce procédé consiste à mettre en cascade la chaudière bois avec une autre technologie productrice de chaleur, qui va jouer le rôle d'appoint et de secours. Ce montage intervient pour deux raisons :

- le dimensionnement d'une chaudière se base sur les conditions empiriques (températures extrêmes en hiver et appel maximal de puissance simultanément dans tous les locaux). Or ces conditions sont réunies deux à trois fois par an. Il ne devient donc pas pertinent d'investir pour une forte puissance de chaudière bois alors que la capacité totale ne serait utilisée que pour des périodes très ponctuelles.

- Ce montage permet de faire fonctionner la chaudière bois à pleine charge le plus longtemps possible, ce qui implique un meilleur rendement et une plus longue durée de vie. Ainsi, l'appoint est actif lors des pics de consommation ou lorsque les besoins en chaleur sont très faibles (en effet la chaudière bois se dégrade également en sous-régime).

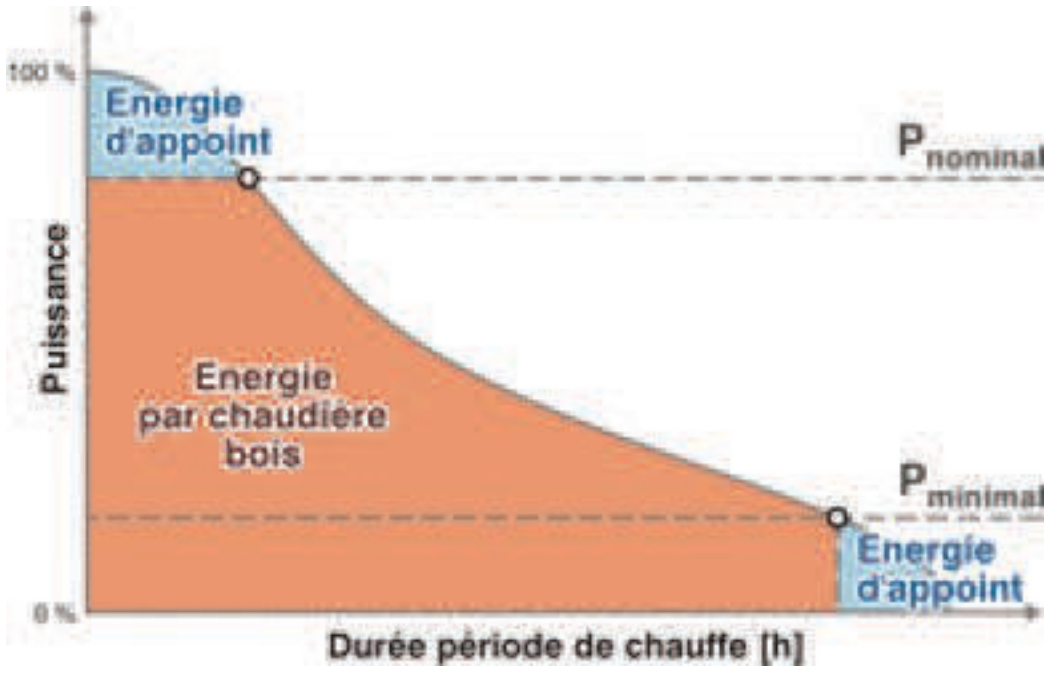


Figure 36. COURBE D'APPEL DE PUISSANCE AVEC LE PRINCIPE DE LA BI-ENERGIE

Ce dimensionnement, qui s'effectue sur la base d'une courbe d'appel de puissance mois par mois, permet à l'énergie bois de couvrir 80% des besoins de chauffage et ECS avec seulement 50% de la puissance maximale appelée. Ainsi, la chaudière bois est utilisée au maximum de son rendement et l'appoint assure le complément pour les jours les plus froids. Les principaux organes d'une telle installation sont le silo qui permet le stockage du bois, le convoyeur qui achemine le bois (avec une vis sans fin ou un tapis), la chaudière bois qui est le foyer de la combustion, et enfin un système d'épuration des rejets gazeux et d'évacuation des cendres.

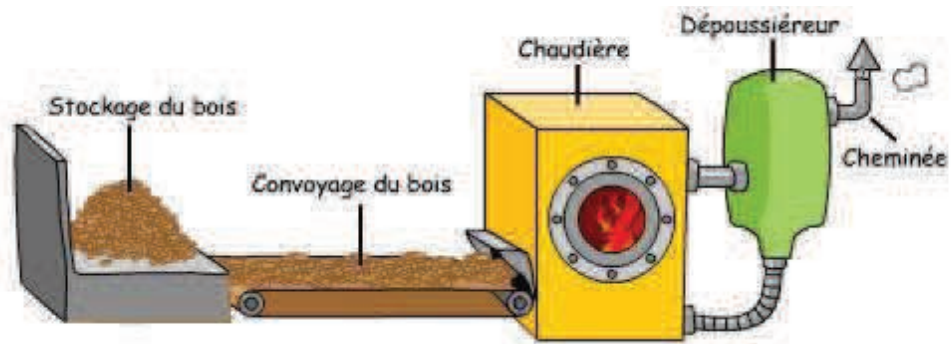


Figure 37. PRINCIPAUX ORGANES D'UNE CHAUFFERIE BOIS

La conception doit être étudiée soigneusement, et toutes les questions nécessaires pour développer une chaufferie fonctionnelle doivent être posées et résolues en amont du projet. En effet, la reprise des erreurs après la mise en service des chaudières est très complexe et extrêmement coûteuse. Ainsi quelques règles doivent être respectées :

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Le silo :

La capacité d'un silo peut aller de 2x2m sur une hauteur de 3 m environ soit 12 m³ pour des installations individuelles jusqu'à 6x6m x 3 ou 4 m soit 110 m³. Cette indication représente le « volume » en eau du silo. Compte tenu des pertes inévitables dans les angles du silo, du fait qu'un silo n'est jamais rempli en totalité et que l'on n'attend jamais l'épuisement du combustible pour commander une livraison, un coefficient de remplissage de 60 % semble approprié. Ainsi, le volume utile d'un silo de 100 m³ en eau n'est que de 60 m³. Le dimensionnement du silo doit être prévu pour des volumes utiles permettant des livraisons soit de 30 m³, soit de 60 m³ ou de 100 m³, ce qui correspond au volume de livraison habituel des camions standard. L'accès au silo est la problématique la plus rencontrée dans les défauts de conception. L'accès des camions doit être mûrement planifié :

- Quel type de camions va venir livrer ?
- Est-ce que le camion peut manœuvrer facilement ?
- La trappe de livraison est-elle suffisamment dimensionnée ? (optimal 3m x 2m)
- Le camion peut-il benner sans difficulté ? (débord de toiture, gouttières, muret à proximité, etc)
- Que se passe-t-il en cas de conditions météorologiques défavorable ? (neige, vent, etc)

Le lien entre le silo et la chaufferie est également indissociable et l'implantation sera déterminée par les conditions d'accès, la configuration du bâtiment et le terrain. Une bonne implantation est la condition de réussite du projet. Dans le cadre du déversement des plaquettes, les principales configurations sont les suivantes :

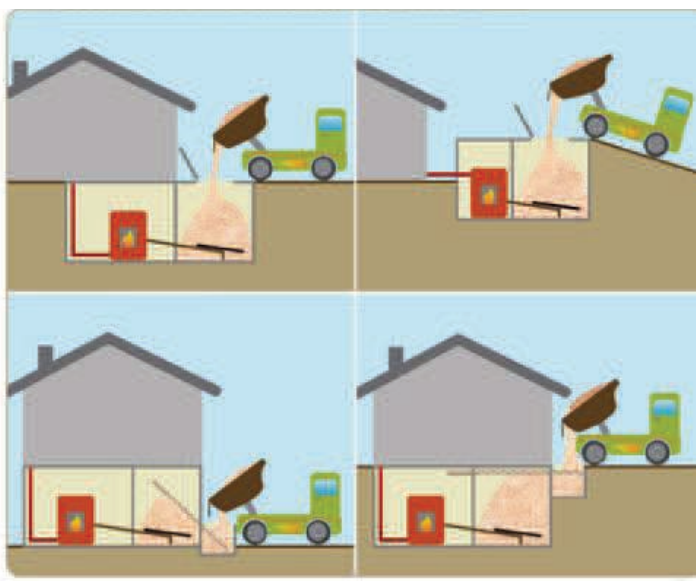


Figure 38. POSSIBILITES D'IMPLANTATION POUR LES CHAUDIERES MOYENNES ET GRANDES PUISSANCES

Pour le soufflage des granulés, le silo doit de préférence être accolé à un mur extérieur dans lequel seront fixés les embouts de remplissage. En raison de la longueur de flexible limitée, le silo doit être éloigné au maximum de 30 mètres du point de remplissage.

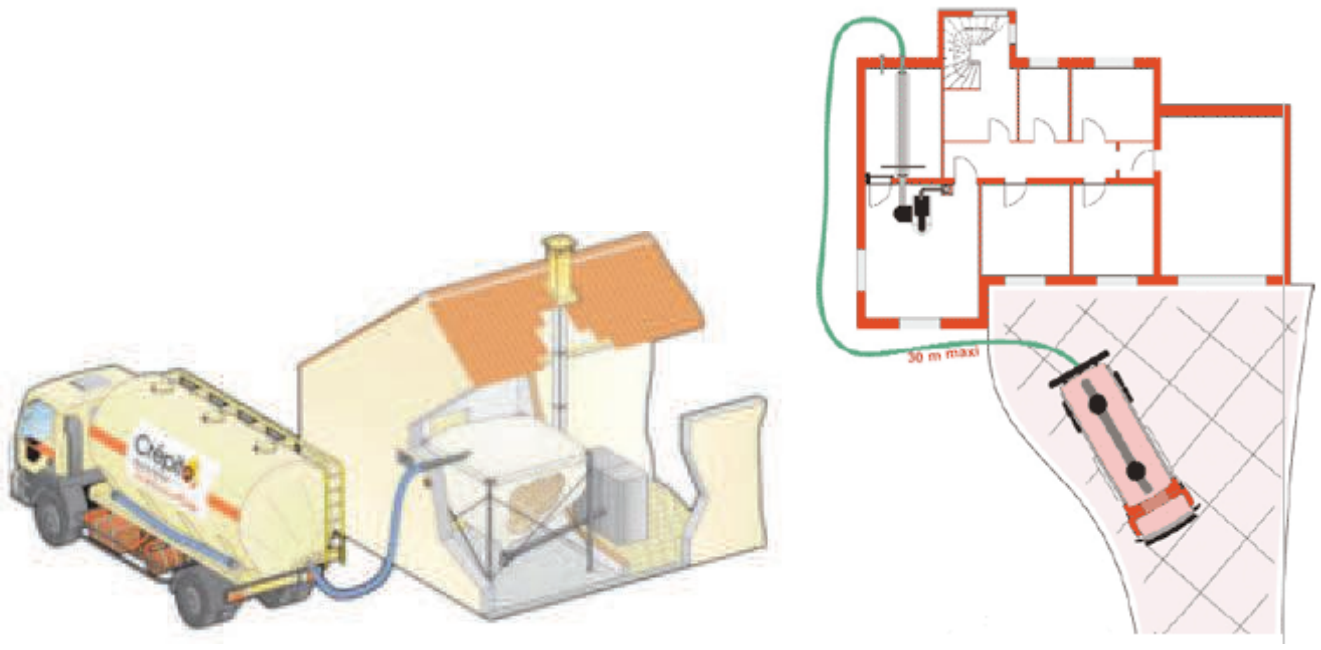


Figure 39. CARACTERISTIQUES DU SOUFFLAGE DE GRANULES

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

La chaufferie :

La chaufferie doit avoir une surface nécessaire pour prendre en compte l'encombrement de la chaudière mais également les dégagements obligatoires pour assurer l'exploitation et la maintenance des installations :

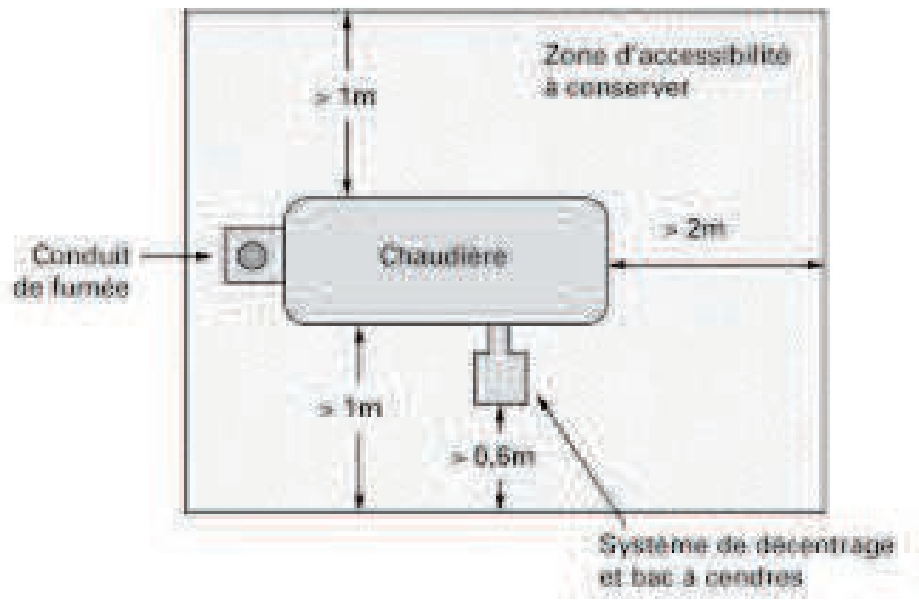


Figure 40. DEGAGEMENTS OBLIGATOIRES AUTOUR D'UNE CHAUDIERE BOIS

L'accès à la chaufferie est aussi un paramètre important, qui mal pensé, peut devenir une difficulté majeure. L'évacuation des cendres est un exemple de problèmes que l'on rencontre résultant d'une mauvaise conception : il est très délicat de sortir un bac à cendre de 30 kg sur roulette par une rampe d'escalier (cas d'une chaufferie en sous-sol). De même une rampe d'accès non couverte peut rapidement devenir impraticable en cas de chute de neige. Les eaux de ruissellement doivent être traitées avec la plus grande attention pour ne pas qu'elles prennent directement le chemin de la chaufferie. Comme pour le silo, il convient de bien maîtriser ces éléments en amont et de se mettre à la place de l'exploitant qui assurera le suivi au quotidien.

3.4.3. Equipement collectif (commun à plusieurs bâtiments)

L'investissement pour une chaufferie bois étant assez importante, il est opportun de mutualiser les équipements en raccordant différents bâtiments à travers un réseau de chaleur. La densité énergétique doit être optimisée en raccordant un maximum de besoins de chaud sur une distance de réseau la plus faible. En effet, un équipement collectif implique une consommation relativement importante et donc un approvisionnement en combustible en conséquence. Un équilibre est à trouver entre la place dédiée au stockage de combustible et la fréquence de livraison du bois.

Le bois énergie, et en priorité la plaquette forestière, peut donc être utilisé comme ressource principale d'un réseau de chaleur regroupant plusieurs bâtiments (la densité énergétique étant trop faible pour envisager la création d'un réseau de chaleur à l'échelle du quartier).

Le réseau de chaleur présente l'avantage de disposer d'une seule installation à suivre. Ainsi, les gestionnaires des bâtiments sont déchargés de l'exploitation du réseau primaire (réseau qui va de la chaufferie jusqu'à l'échangeur de chaleur dans le bâtiment), et se contentent seulement d'acheter la chaleur consommée.

Des sous-stations avec un échangeur de chaleur sont placées à chaque entrée de bâtiment. Elles représentent l'équivalent d'une chaudière sur le bâtiment considéré. Les moyens de production étant délocalisés, elles nécessitent qu'une très faible emprise foncière.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.4.4. Equipement individuel (pour un seul bâtiment)

Le bois énergie peut également être utilisé de manière individuelle. La ressource bois locale peut être valorisée soit via une chaudière bois (qui permet de satisfaire les besoins de chauffage et d'ECS), soit via un poêle à bois (qui ne produit généralement pas d'ECS, sauf dans le cas d'un poêle bouilleur). Pour les maisons individuelles, le granulé est le combustible idéal de par la souplesse de son conditionnement très bien adapté pour les petites quantités.



Figure 41. CHAUDIERE BOIS INDIVIDUELLE DE VIZEA

Le bois énergie peut être sollicité pour satisfaire les besoins de chaleur aussi bien pour les maisons individuelles que pour le collectif, en pied de bâtiment ou sous la forme d'un réseau de chaleur. Tout ceci doit être intégré dès la conception des bâtiments pour que l'implantation des chaudières, la problématique de l'accès des camions et du stockage soient anticipées. Un appoint peut s'avérer également nécessaire.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.5. La méthanisation

La méthanisation est une technologie basée sur la dégradation par des bactéries de la matière organique dans un réacteur chimique appelé digesteur, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène. Elle permet de traiter des rejets aussi divers que les eaux usées, les boues de stations d'épuration, les déjections animales, les déchets de l'industrie agro-alimentaire, les déchets de cuisine, les ordures ménagères, les déchets agricoles, etc. Selon le type de déchets et les conditions de température et de pression dans lesquelles ce traitement biologique s'effectue, cette fermentation conduit à la production de biogaz. Composé majoritairement de méthane (60 à 80%) et de dioxyde de carbone (18 à 38%), ce biogaz peut être valorisé de différentes manières :

- Par cogénération : l'électricité produite est autoconsommée ou revendue à un acheteur obligé, sous le régime d'obligation d'achat avec une forte incitation à valoriser la chaleur résiduelle.
- Par combustion sous chaudière : une partie de la chaleur produite sera utilisée pour le fonctionnement de l'installation de méthanisation, le reste étant valorisé à proximité.
- Fabrication de carburant pour les véhicules publics sous forme de gaz naturel véhicule (GNV) après épuration du biogaz.
- Par injection sur le réseau de distribution de gaz naturel (après épuration du biogaz).

Chaque substrat présente donc des qualités et des contraintes. Les matières végétales telles que les résidus de récolte, les déchets de silos et de céréales, les déchets de fruits et légumes ont souvent de hauts potentiels méthanogènes et sont facilement assimilables par les bactéries. De leur côté, les déjections animales ont un potentiel méthanogène relativement faible, mais apportent des bactéries fraîches et stabilisent le mélange (voir figure 42).

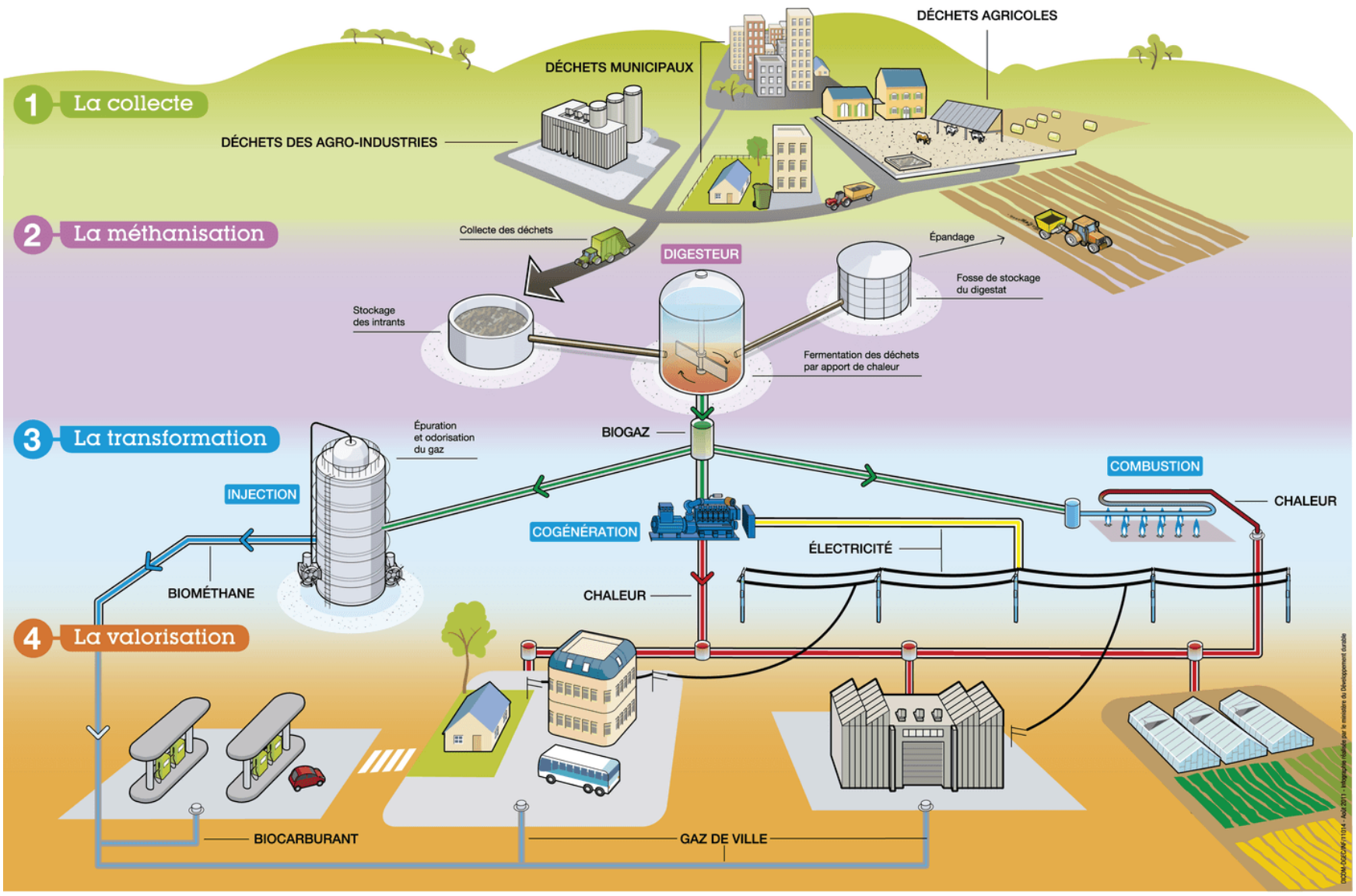


Figure 42. PROCESS DE METHANISATION - (SOURCE : MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE)

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

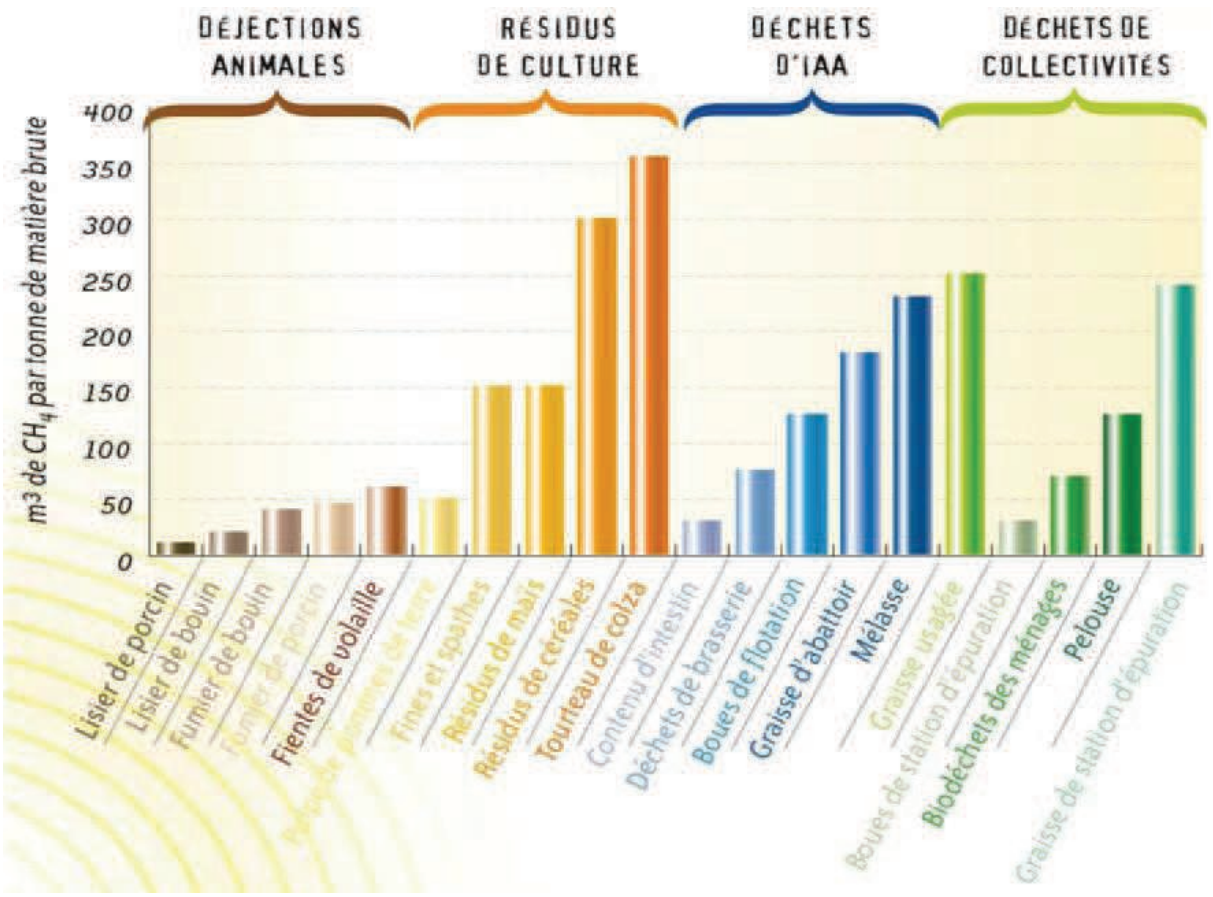


Figure 43. POTENTIEL METHANOGENE DES DIFFERENTS SUBSTRATS

Il est possible de calculer le potentiel brut à l'échelle du projet en raisonnant sur le nombre d'habitants. On considère ainsi uniquement le nombre de logements en prenant en moyenne 3 habitants par ménage, ce qui équivaut à 986 logements pour 2 958 habitants :

Population	OMR méthanisables (en T/an)	Déchets verts méthanisables (en T/an)	Boues de STEP méthanisables (en T/an)	Total de la matière méthanisable (en T/an)	Production de Biogaz (Mwhep/an)	Production de chaleur par cogénération (en Mwhef/an)	Production d'électricité par cogénération (en Mwhef/an)	Digestat (T/an)
2 958	53	290	32	375	288	127	118	322

Figure 44. POTENTIEL BRUT PAR METHANISATION A L'ECHELLE DU QUARTIER

Aujourd'hui, la majorité des déchets sont orientés vers l'incinérateur de Saran. De plus, la LTECV précise que d'ici 2025, l'ensemble des producteurs de biodéchets devra disposer d'une solution leur permettant de les trier à la source afin qu'ils soient valorisés. Le projet peut donc anticiper la réglementation en installant une solution de micro-méthanisation à proximité. Ces solutions permettent le traitement des bio-déchets dans un rayon de moins de 5 km de leur lieu de production, réduisant ainsi de manière significative les coûts de transport. Elles couvrent des solutions de traitement pour des gisements compris entre 80 et 1000 tonnes par an. Elles sont adaptées aux collectivités, grandes surfaces alimentaires, industries agro-alimentaires, résidences hôtelières, marchés aux comestibles et éco-quartiers. L'impact social et sociétal repose sur l'implication des habitants à mettre en œuvre le tri des déchets organiques.

Cette solution permet de valoriser triplement les déchets en produisant à la fois de la chaleur, de l'électricité et de l'engrais de grande qualité. La technologie est peu pertinente pour répondre aux besoins énergétiques à l'échelle du secteur mais elle peut agir en démonstrateur d'un processus innovant qui permettra d'anticiper la future réglementation : disposer d'une stratégie spécifique pour la collecte des déchets à la source sur le quartier. Au niveau des contraintes, les unités de méthanisations sont des ICPE qui doivent respecter une distance de 50 mètres avec les habitations.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.6. L’énergie solaire

Le projet est situé dans une zone géographique qui ensoleillement suffisant pour exploiter la ressource solaire. De plus, les surfaces disponibles pour le projet sont importantes.

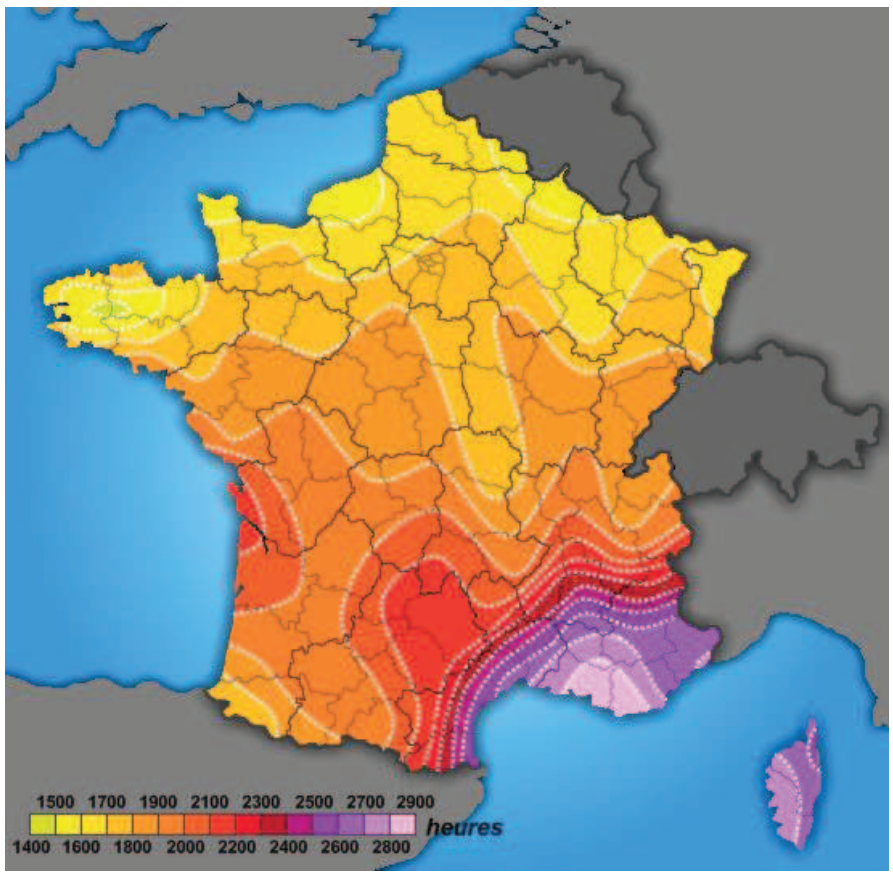


Figure 45. CARTE DE L’ENSOLEILLEMENT ANNUEL (METEO-EXPRESS)

Le gisement solaire est évalué en fonction de l’ensoleillement moyen. Il s’élève pour un plan incliné à 30° par rapport à l’horizontal et orienté plein sud site à 1357 kWh/m²/an. Le potentiel de production peut également être impacté par les masques solaires, qui correspondent aux ombres qui réduisent l’apport lumineux et calorifique. Ils sont dus à la présence d’arbres, de bâtiments ou de reliefs autour de la toiture. Quel que soit l’endroit où l’on se trouve, la façade exposée au sud ne peut pas toujours bénéficier de soleil toute la journée.

Les panneaux solaires installés sur une surface plane doivent comporter une certaine distance de séparation entre les rangées afin d’éviter le chevauchement des ombres des panneaux sur les autres.

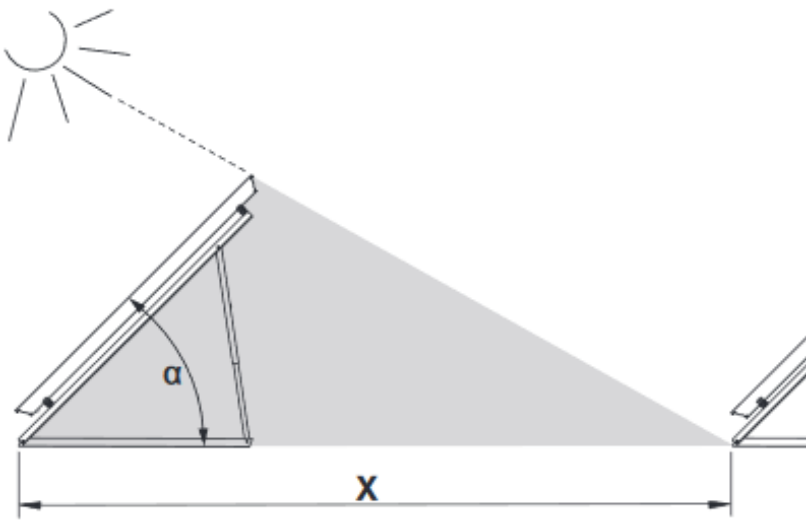


Figure 46. DISTANCE DE SEPARATION DES RANGEES DE PANNEAUX SOLAIRES

Le milieu urbain est jugé favorable à l’implantation de technologies solaires. Le potentiel est viable et les surfaces sont importantes. Une analyse d’ensoleillement doit être réalisée afin d’étudier les toitures les plus propices à la technologie. La production d’électricité et de chaleur seront les vecteurs étudiés pour ce gisement.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.6.1. Le solaire photovoltaïque

Une installation photovoltaïque se compose de modules solaires, eux-mêmes constitués de cellules photovoltaïques, généralement conçues à base de silicium. Ces générateurs transforment directement l'énergie solaire en courant continu, puis en courant alternatif grâce à l'onduleur. La puissance est exprimée en Watt-crête (Wc), unité qui définit la puissance électrique disponible aux bornes du générateur dans des conditions d'ensoleillement optimales.

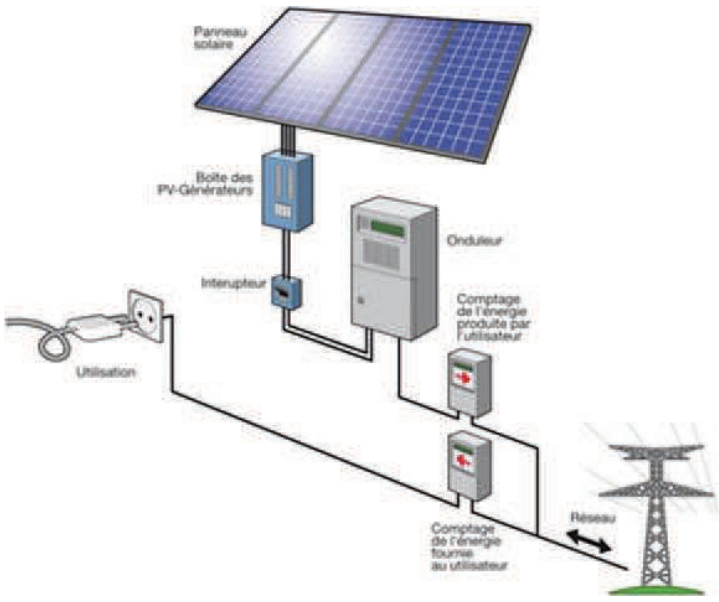


Figure 47. COMPOSANTS CLASSIQUES D'UNE INSTALLATION SOLAIRE PV

Il existe trois principaux modes d'utilisation pour un système photovoltaïque : l'utilisation en site isolé, l'autoconsommation avec possibilité de revente du surplus de production, et la revente en totalité de la production électrique :

Utilisation en site isolé : certains sites sont éloignés du réseau public de distribution d'électricité et le raccordement est irréalisable techniquement et/ou financièrement. Les panneaux photovoltaïques sont dans ce cas une bonne solution. L'électricité produite est directement utilisée. Des batteries sont installées pour pouvoir stocker l'électricité afin de l'utiliser durant la nuit ou pendant de brèves périodes nuageuses. Ainsi, en cas d'excès de production, les batteries se chargent tandis qu'en cas de besoin supplémentaire de la part des consommateurs, l'énergie stockée dans les batteries est puisée. Ces solutions sont les plus coûteuses en termes d'investissement à cause du prix de batteries.

Autoconsommation avec possibilité de revente : la production d'électricité provenant des panneaux photovoltaïques est dans un premier temps consommée. Si cette production n'est pas suffisante pour assurer les besoins de consommation, de l'électricité provenant du réseau public de distribution est importée. Au contraire si la production est excédante, le surplus peut être vendu via un contrat d'achat.

Revente en totalité de la production : la production électrique est injectée en totalité sur le réseau public de distribution. Cela n'a donc pas d'incidence sur la facture d'électricité en tant que consommateur.

Quant au productible, il est essentiellement dépendant de l'ensoleillement, de l'orientation et de l'inclinaison. Il varie également en fonction de la technologie et du rendement des capteurs, de la surface disponible, de la température nominale des panneaux et des différentes pertes liées aux ombrages et au système électrique. La technologie peut être installée pratiquement partout si les conditions d'orientation et d'inclinaison sont favorables, mais on privilégie très généralement les toitures car elles possèdent le moins de conflit d'usage.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

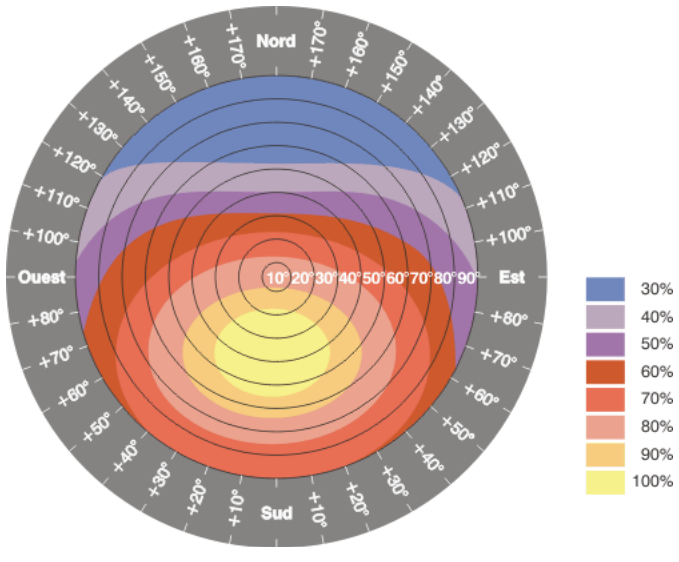


Figure 48. POURCENTAGE DE PRODUCTION PAR RAPPORT A L'OPTIMUM EN FONCTION DE L'ORIENTATION ET DE L'INCLINAISON

Les hypothèses pour le calcul du potentiel brut à l'échelle du projet se basent sur un module polycristallin incliné et orienté de manière optimale. C'est le type de panneau le plus répandu sur le marché et qui dispose du meilleur rapport qualité/prix. Son rendement, d'environ 15%, est moins important que le monocristallin qui est plus onéreux et qui est utilisé surtout lorsque l'on veut maximiser la production dans des surfaces très petites. De plus, on considère une surface utile de toiture égale à 30% de la surface entière, afin de tenir compte de l'espacement entre les panneaux sur toiture-terrasse, des pentes mal orientées ou d'autres usages (toitures végétalisées par exemple).

G, Gisement solaire : 1357 kWh/m²/an
R, Rendement : 15%
S, Surface de toiture : 42 000 m²
Su, Surface utile : 30%
P, Production : P = G x R x S x Su = **2 565 MWh/an**

Zoom sur l'autoconsommation : Avec l'augmentation du prix de l'électricité et des tarifs d'achat de l'électricité photovoltaïque de moins en moins intéressants, l'autoconsommation peut s'avérer plus pertinente avec la revente du surplus produit.

Zoom sur les centrales citoyennes : Un des moyens de financer et de pérenniser l'implantation du solaire photovoltaïque sur le territoire peut être de fédérer plusieurs acteurs (la Mairie, les habitants, les activités…) autour d'une centrale photovoltaïque citoyenne. Ce dispositif permet aux propriétaires de bâtiments de louer leur toiture à une société formée et financée par les acteurs intéressés, qui financent l'installation de panneaux solaires photovoltaïques et en récupère les bénéfices financiers à termes.

Les panneaux solaires peuvent être installés de manière complémentaire de la stratégie énergétique du quartier, puisque les panneaux n'ont pas d'impact sur le dimensionnement des autres systèmes thermiques. La mise en place de panneaux solaires photovoltaïques par le biais d'une centrale photovoltaïque citoyenne peut être une solution pérenne de financement et de maintenance des panneaux pour le projet. L'autoconsommation doit être fortement privilégiée dans le tertiaire et les commerces.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.6.2. Le solaire thermique

Cette technologie permet, grâce à des capteurs solaires thermiques, de convertir le rayonnement solaire en énergie thermique afin de chauffer l'eau. L'eau peut être ensuite utilisée de trois manières différentes :

- en tant qu'eau chaude sanitaire (ECS);
- dans un système de chauffage central à eau chaude;
- dans un système combiné associant ECS et chauffage central.

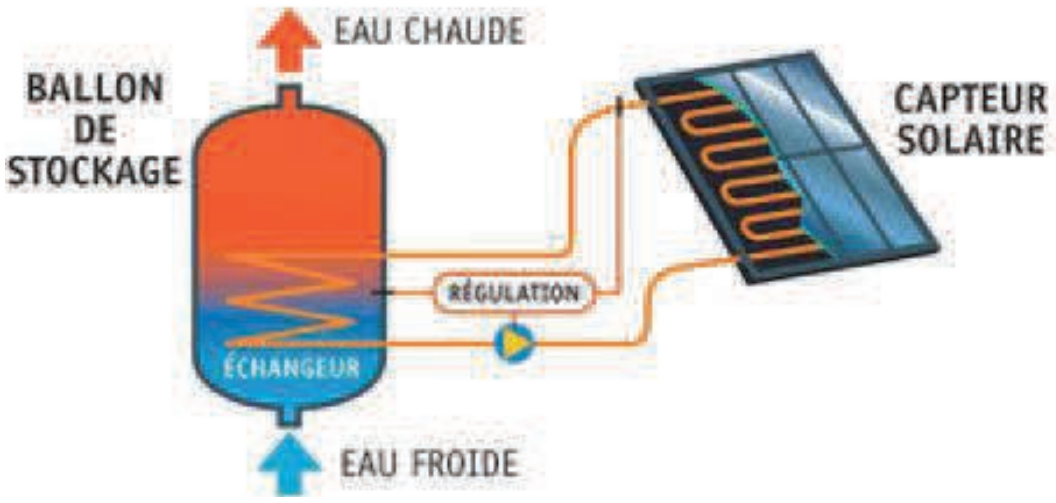


Figure 49. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU SOLAIRE THERMIQUE POUR PRODUIRE DE L'ECS

Il est opportun pour le projet de dimensionner les capteurs solaires thermiques afin de couvrir 50% des besoins en ECS afin d'optimiser le taux d'utilisation de l'installation (voir figure 49). Cette configuration permet de couvrir 90 % à 95 % des besoins énergétiques liés à la production d'ECS durant la période estivale. Ce pourcentage s'avère en revanche nettement moins élevé durant l'hiver avec une production de l'ordre de 15 % à 20 %. En effet, il n'est pas pertinent d'augmenter la surface de capteurs pour produire plus en hiver car cette superficie deviendrait superflue en été et viendrait dégrader l'installation à cause des surchauffes.

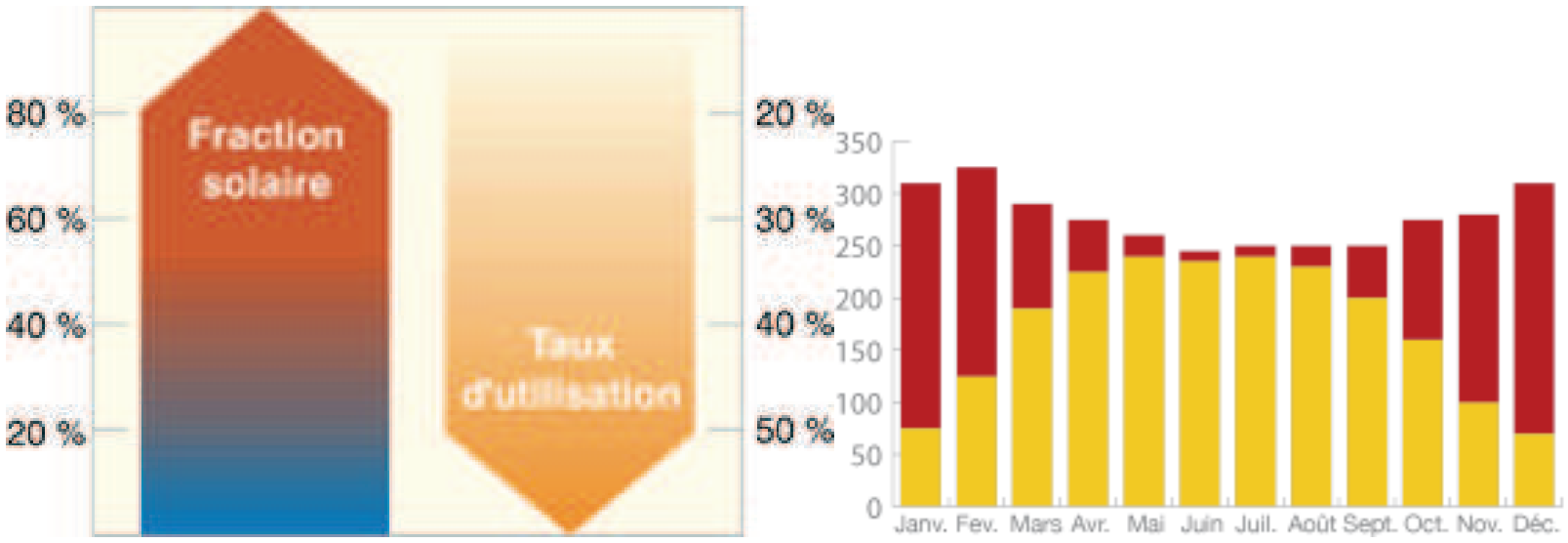


Figure 50. RELATION ENTRE LA FRACTION SOLAIRE ET LE TAUX D'UTILISATION DE L'INSTALLATION ET COUVERTURE DES BESOINS

Les besoins en ECS des logements étant relativement importants, ces systèmes sont installés en priorité sur les toitures de ce type de bâtiments. Ils disposent d'un rendement d'environ 30%. En considérant la surface utile de toiture, on pourrait installer jusqu'à **12 600 m²** de panneaux pour une production de **5 129 MWh**. Au total, pour couvrir **50% (soit 922 MWh)** des besoins en ECS sur le périmètre, il ne faudrait installer que **2 266 m²** de panneaux solaires thermiques.

Le solaire thermique est tout à fait adapté pour le projet compte tenu de la programmation qui comporte de très nombreux logements.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.6.3. Le solaire hybride

Le solaire hybride est l'association de deux technologies solaires (photovoltaïque et thermique) en un seul panneau capable de produire simultanément du chaud et de l'électricité.

Ce système est particulièrement adapté aux logements, car il permet de couvrir une partie des besoins d'ECS (qu'il est impossible de réduire en phase conception) et une partie des besoins électriques (qui sont très importants).

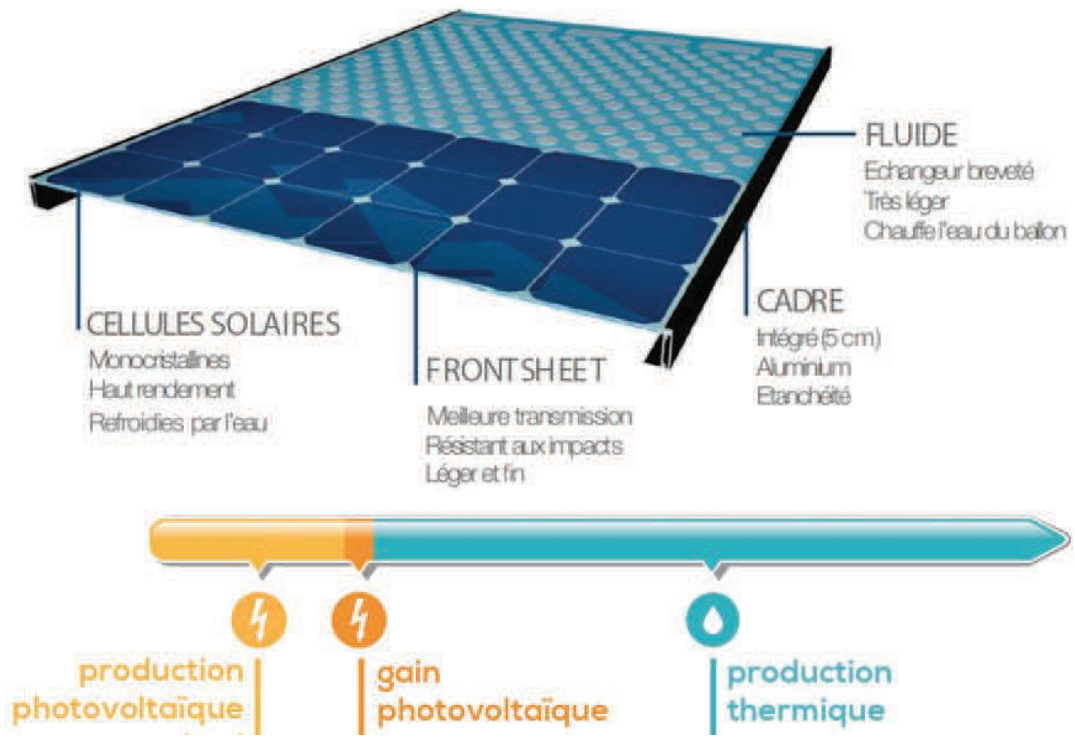


Figure 51. SCHEMA DE PRINCIPE DU SOLAIRE HYBRIDE

Pour couvrir 50% des besoins en ECS sur le quartier, il faudrait 5 849 panneaux solaires hybrides pour une surface de **9 710 m²**. Cette configuration aboutit à **992 MWh** produit pour l'ECS et **1 582** MWh pour l'électricité.

Cette solution nécessite plus de surface pour produire la même production que le solaire thermique classique, mais elle a l'avantage de produire de l'électricité en même temps. La production d'énergie par capteurs solaires hybrides présente un intérêt pour les bâtiments de logements collectifs, cela permet à la fois une autoconsommation de l'électricité produite et une valorisation directe de la chaleur grâce à l'ECS des logements. Cette technologie récente est plus onéreuse que les systèmes classiques.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.7. L’éolien

Les différents dispositifs d’éoliennes permettent de convertir l’énergie cinétique du vent en énergie mécanique, transformée alors en électricité.

3.7.1. Grand et moyen éolien

D’après le Schéma Régional Eolien de la région Centre, la commune d’Orléans ne fait pas partie des communes susceptibles d’être concernées par le développement de l’éolien. Le projet se trouve sur une zone très défavorable car il multiplie les contraintes et servitudes pour l’implantation d’éoliennes

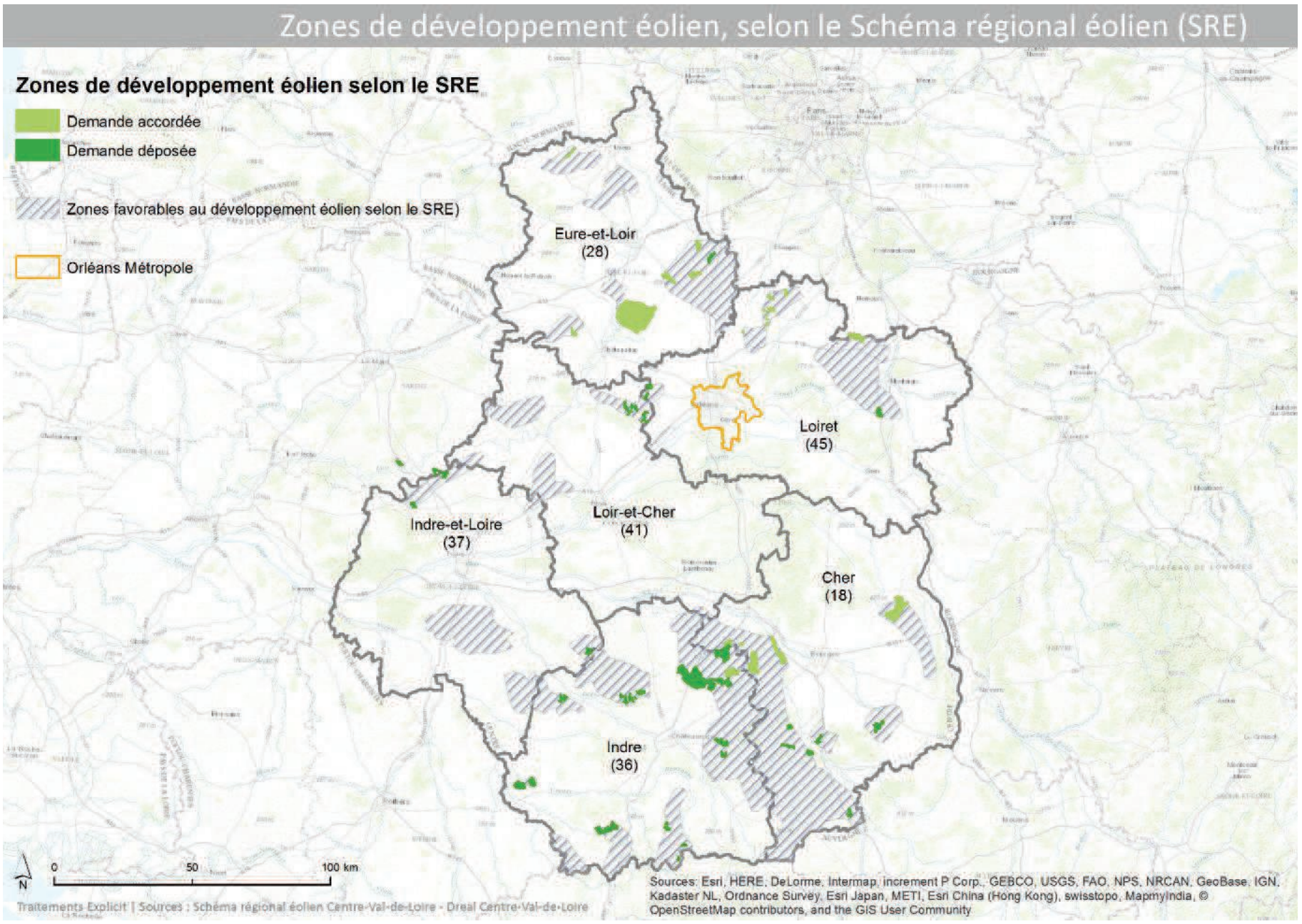


Figure 52. ZONE FAVORABLE AU DEVELOPPEMENT DE L’ENERGIE EOLIENNE (SOURCE : SRE)

3.7.2. Le petit éolien : les éoliennes de bâtiment

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

Les contraintes du site ne permettent pas d’envisager l’implantation d’éoliennes. L’utilisation d’éoliennes de bâtiment n’est pas pertinente pour la stratégie énergétique.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.8. L’hydroélectricité

L’énergie hydroélectrique consiste à convertir l’énergie hydraulique des flux d’eau en énergie mécanique grâce à une turbine, puis en énergie électrique au biais d’un alternateur.

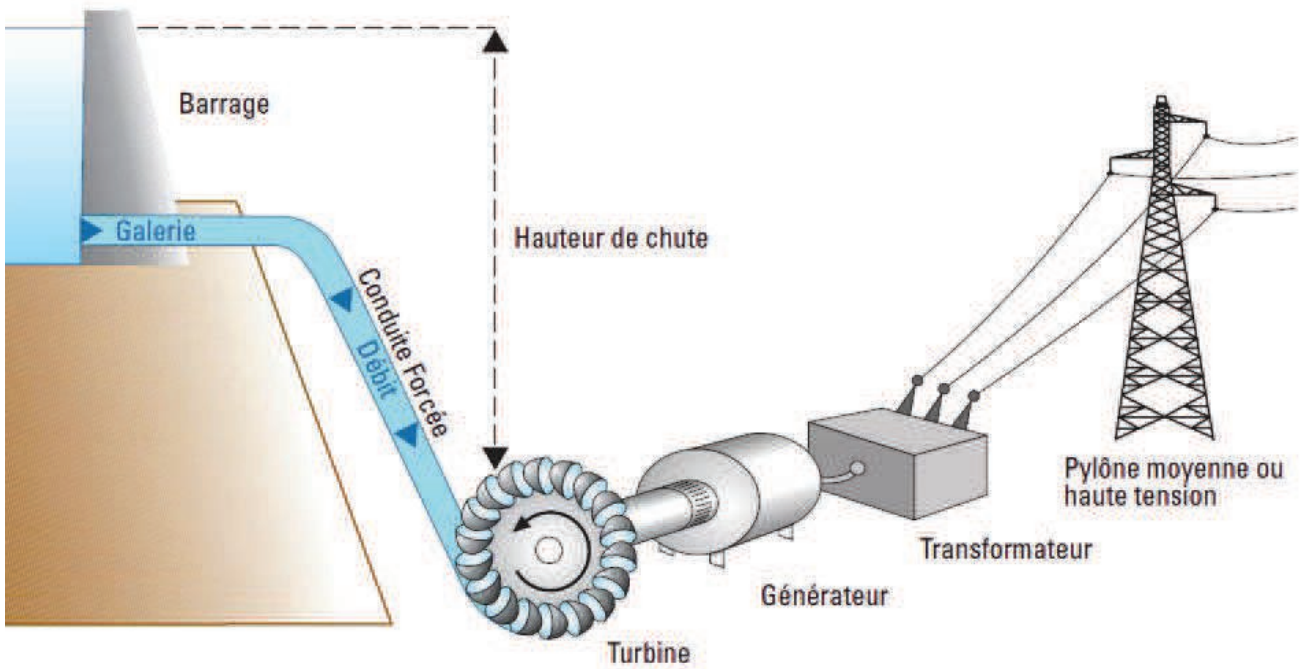


Figure 53. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES D’UN BARRAGE HYDROELECTRIQUE

25 seuils en rivière sont en fonctionnement sur le territoire et 6 d’entre eux correspondent à d’anciens moulins. L’utilisation des seuils en rivière en titre permet d’estimer la puissance maximale installable. Le gisement brut s’élève à 115 kW sur l’ensemble du territoire, ce qui correspond à une production potentielle brute d’environ à 500 MWh (*Source : Diagnostic des EnR actuelles et potentiel de mobilisation local 2017*). Le potentiel à l’échelle du territoire est donc très faible : il est très inférieur aux besoins électriques engendrés par le projet.

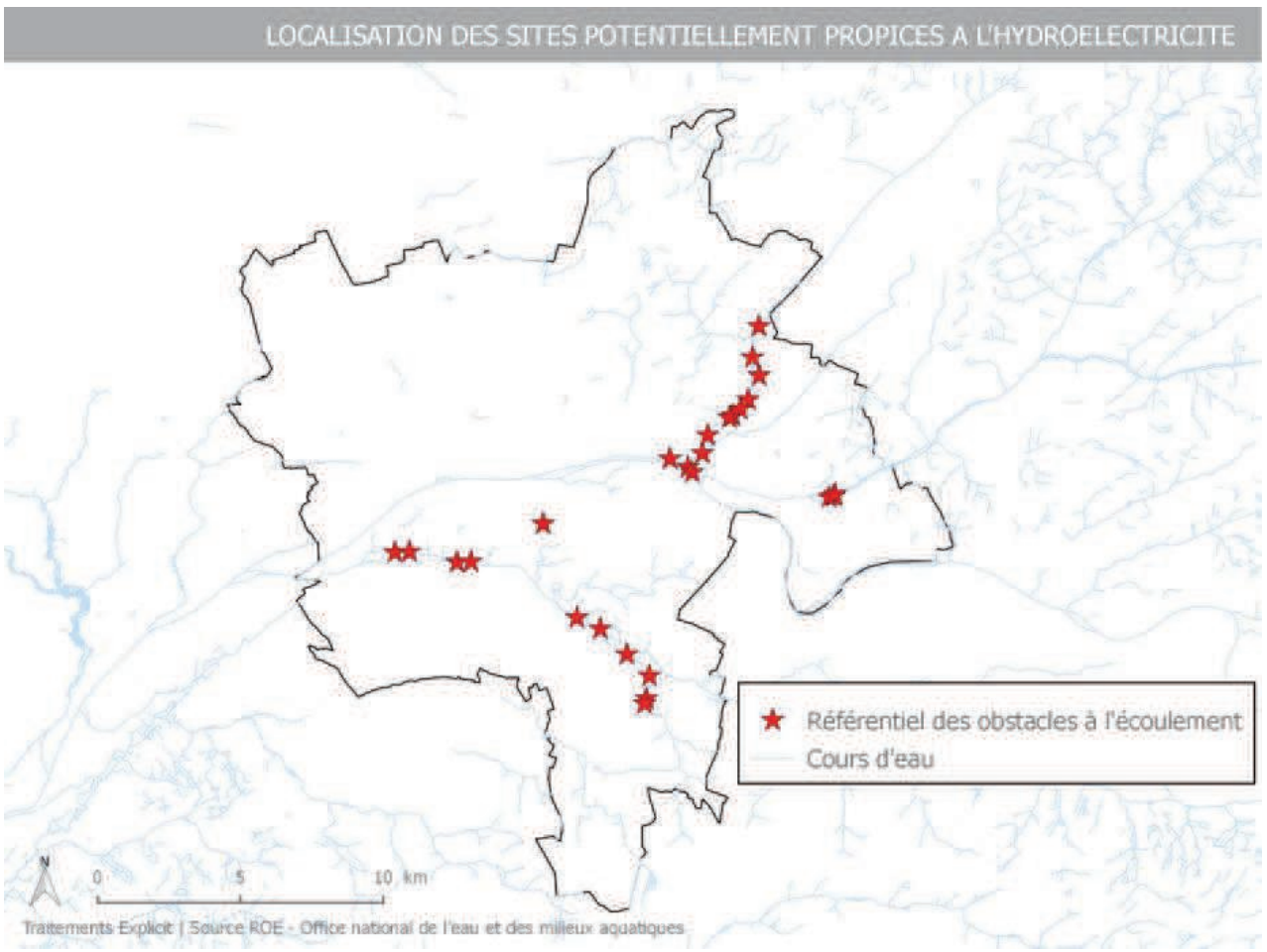


Figure 54. LOCALISATION DES SITES PROPICES A L’HYDROELECTRICITE (SOURCE : ROE – OFFICE NATIONAL DE L’EAU)

Le potentiel hydroélectrique est très faible sur le territoire. De plus, le site ne se trouve pas à proximité d’un cours d’eau mobilisable.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.9. Bilan atouts/contraintes

3.9.1. Production d'énergie thermique

Technologie	Pertinence	Avantages	Inconvénients
Production de chaleur			
Raccordement réseau de chaleur existant	Oui	Possibilité de massifier le taux EnR Mutualisation de la production Réseau à proximité	Linéaire de conduite à créer Grande part de logements individuels
Création de réseau de chaleur sur le projet	Non Oui avec d'autres acteurs	Grands consommateurs à proximité	Densité énergétique trop faible du projet
Géothermie sur aquifère profond	Non		Pas assez de besoins
Géothermie sur nappe superficielle	Complexe	Production de chaud et de froid Débit important Géocooling	Site inclus dans le périmètre éloigné de protection des eaux
Géothermie sur champ de sondes	Non		Multitude de forage pour peu de puissance Non pertinent en présence d'une nappe
Récupération de chaleur sur eaux grises	Oui (grands collectifs)	Powerpipe : Réduction des consommations d'ECS de 20 à 30% et système passif Biofluides ERS : importante couverture des besoins ECS	Nécessite un système de production d'ECS collectif et une séparation des eaux vannes et grises Réduit la densité thermique d'un réseau de chaleur
Récupération de chaleur sur réseau d'eaux usées	Non		Réseau non adapté et STEP trop éloignée
Chaudière numérique	Oui (grands collectifs)	Peut couvrir 50% de l'ECS Frais d'investissement uniquement (exploitation, consommation électrique du serveur à la charge de l'entreprise) Quantité de chaleur délivrée définie contractuellement Système innovant	Nécessite un système collectif ECS Nécessite une consommation minimum équivalente à 20 logements Nécessite un emplacement fibre Réduit la densité thermique d'un réseau de chaleur
Récupération de chaleur fatale industrielle	Oui	Potentiel important et faible distance	Nécessite d'approvisionner d'autres acteurs
Récupération de chaleur sur groupe froid	Fonction du projet (commerces)	Permet au mieux de réduire de 30% l'ECS des commerces	Pas de production importante de froid sur le quartier Peu pertinent pour la stratégie énergétique globale
Bois énergie	Oui	Production pour le chauffage et l'ECS Données environnementales très bonnes	Nécessite une structuration de la filière en amont pour d'importants approvisionnements Nécessite d'intégrer les contraintes d'implantation, de stockage et d'accès dès la conception des bâtiments Nécessite très souvent un appoint
Méthanisation	Démonstrateur	Anticipe la réglementation future sur la collecte des biodéchets Triple valorisation chaleur, électricité, engrais	Espacement de 50m avec les habitations Stratégie déchets à développer Potentiel brut faible à l'échelle du quartier
Solaire thermique	Oui	Permet de couvrir les besoins d'ECS à hauteur de 50%	Nécessite un système d'appoint Réduit la densité thermique d'un réseau de chaleur Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage
Solaire hybride	Oui	Production d'ECS et d'électricité à la fois	Nécessite un système d'appoint Réduit la densité thermique d'un réseau de chaleur Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage Technologie onéreuse

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

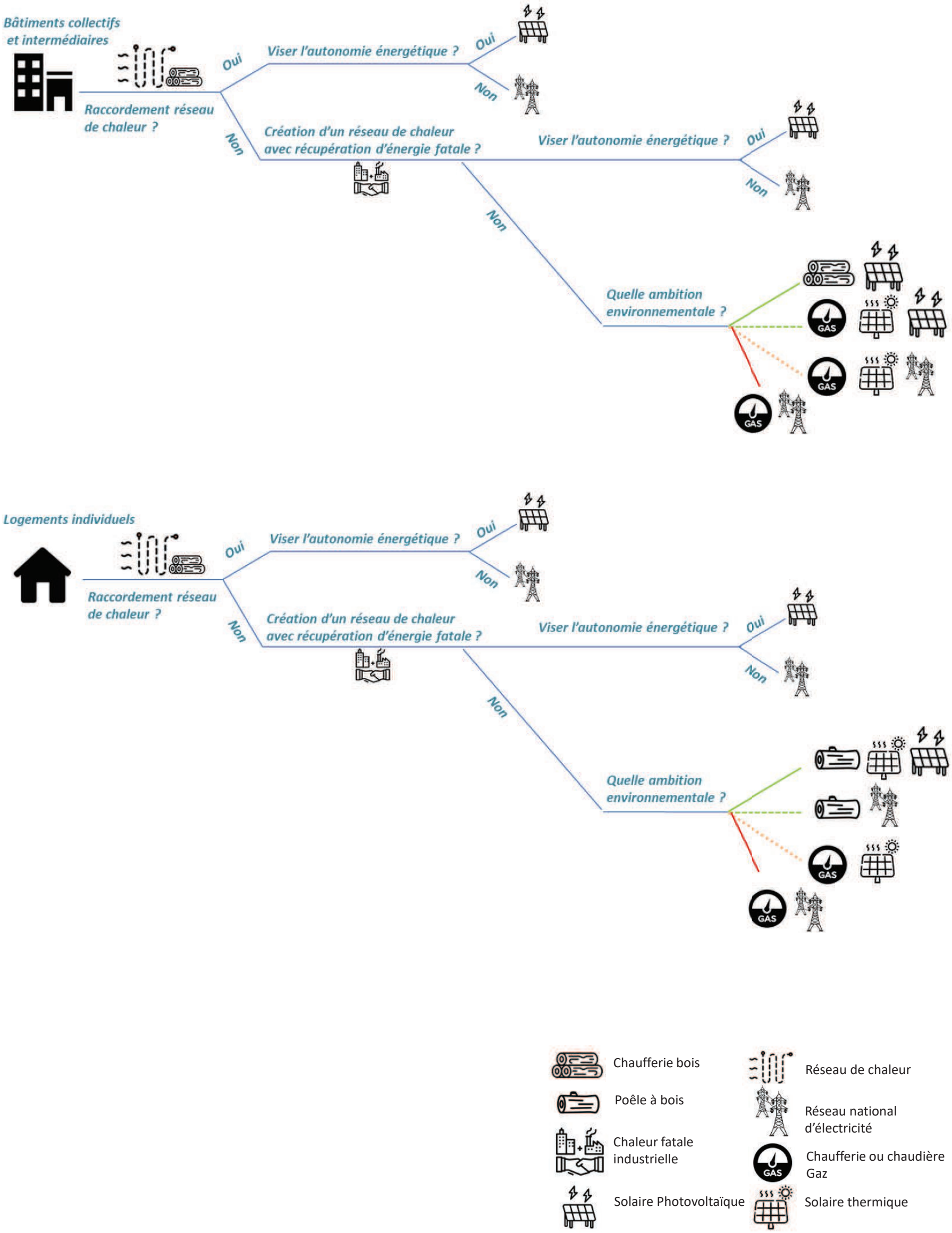
3.9.2. Production d'électricité

Technologie	Faisabilité	Avantages	Inconvénients
Production d'électricité			
Méthanisation	Démonstrateur	Anticipe la réglementation future sur la collecte des biodéchets Triple valorisation chaleur, électricité, engrais	Espacement de 50m avec les habitations Stratégie déchets à développer Potentiel brut faible à l'échelle du quartier
Solaire photovoltaïque	Oui	Autoconsommation électrique possible	Eventuel conflit d'usage en toiture Tarif d'achat peu avantageux
Solaire hybride	Oui	Autoconsommation électrique possible Production de chaleur en simultané	Tarif d'achat peu avantageux Nécessite un système d'appoint Réduit la densité thermique d'un réseau de chaleur Utilisation des toitures pour l'énergie : éventuel conflit d'usage Technologie onéreuse
Grand et moyen éolien	Non		Densité urbaine trop importante
Petit éolien	Non		Vibrations & bruits Turbulence du vent Faible productivité
Hydroélectricité	Non		Pas de potentiel mobilisable

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.10. **Scénarios d'approvisionnement**

3.10.1. Les scénarios possibles



Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

3.10.2. Les scénarios étudiés

Logements collectifs

Scénario	Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Référence	Chaudière GAZ		-	Réseau Electrique
Bâtiment autonome	Chaudière Bois		-	Solaire PV (appoint réseau)
Réseau de chaleur	Raccordement au réseau SODC Bois avec appoint Gaz		-	Solaire PV (appoint réseau)

Logements individuels

Scénario	Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Référence	Chaudière GAZ		-	Réseau Electrique
Maison autonome	Poêle à bois	Solaire thermique (appoint électrique)	-	Solaire PV (appoint réseau)
Réseau de chaleur	Raccordement au réseau SODC Bois avec appoint Gaz		-	Solaire PV (appoint réseau)

Hôtellerie

Scénario	Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Référence	Chaudière GAZ		PAC air/eau	Réseau Electrique
Bâtiment autonome	Chaudière Bois		PAC air/eau	Solaire PV (appoint réseau)
Réseau de chaleur	Raccordement au réseau SODC Bois avec appoint Gaz		PAC air/eau	Solaire PV (appoint réseau)

Activités / commerces

Scénario	Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Référence	PAC air/air	Ballons électriques	PAC air/air	Réseau Electrique
Commerce autonome	Chaudière Bois		PAC air/eau	Solaire PV (appoint réseau)
Réseau de chaleur	Raccordement au réseau SODC Bois avec appoint Gaz		PAC air/eau	Solaire PV (appoint réseau)

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

4. ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE

4.1. Les hypothèses

Pour comparer les systèmes, les scénarios et les énergies, les hypothèses suivantes sont prises en compte :

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

Figure 55. HYPOTHESES ECONOMIQUES

Ressource	Ratio EP/EF	Emissions de GES (g $eqCO_2$/kWh)	Emissions de SO2 (g/kWh)	Emissions de NOx (g/kWh)	Déchets Nucléaires FMA (g/kWh)	Déchets Nucléaires HA (g/kWh)	% EnR
Electricité	3,15	74	0,89	0,47	0,05	0,01	18,0%
Gaz	1,1	234	0	0,17	0	0	0,03%

Figure 56. HYPOTHESES ENVIRONNEMENTALES

L'analyse économique est réalisée sur 30 ans. Le bilan environnemental de l'étude correspond à l'état actuel. Il faut donc garder en mémoire que le réseau de gaz est amené à contenir 10% de gaz vert en 2030 et que la production EnR dans le mix électrique français a pour objectif d'atteindre 40% de la production totale à cet horizon.

L'étude se basera sur un scénario de performance énergétique réaliste, ambitieux et non-fortement contraignant pour les constructeurs. Il s'agira d'un mix entre les scénarios de performance présentés dans le bilan énergétique. Ainsi, les maisons individuelles seront en performance passive, tandis que les autres constructions en performance Effinergie +.

Typologie	Performance	Surface (m²)	Besoin de chauffage (kWh/an)	Besoin d'ECS (kWh/an)	Besoin de froid (kWh/an)	Besoin d'électricité (kWh/an)	Puissance Chaud (kW)	Puissance Froid (kW)
Logements collectifs	Effinergie +	56 956	1 403 396	1 566 290	0	1 708 680	1 244	0
Logements individuels	RT 2020	9 240	142 296	203 280	0	223 608	162	0
Commerces / Activités	Effinergie +	2 043	66 071	22 473	74 161	122 703	45	148
Hôtel	Effinergie +	1 394	32 201	53 669	25 301	51 522	30	51
Total		**69 633**	**1 643 964**	**1 845 712**	**99 462**	**2 106 513**	**1 481**	**199**

Figure 57. BILAN ENERGETIQUE FINAL RETENU POUR L'ETUDE

L'analyse économique est réalisée selon le vecteur énergétique. Ainsi, les systèmes techniques qui produisent simultanément deux vecteurs énergétiques (par exemple le solaire hybride qui produit à la fois de l'électricité et de l'ECS) auront un investissement scindé et réparti selon les vecteurs respectifs.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

4.2. Description des indicateurs économiques

Les indicateurs économiques utilisés dans le cadre de l'étude sont les suivants :

- Investissement total (€ TTC) ;
- Subventions comptabilisées dans l'analyse financière (€) ;
- Investissement non subventionné (€ TTC) ;
- Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh) sur 30 ans. Ce coût de l'énergie contient ni le coût de l'investissement, ni celui de la maintenance et de l'entretien, il est représenté au niveau des réseaux de chaleur par le tarif R1 ;
- Entretien moyen (€ TTC/MWh) sur 30 ans (compris dans le tarif R2 pour les réseaux de chaleur) ;
- Maintenance moyenne (€ TTC/MWh) sur 30 ans (compris dans le tarif R2 pour les réseaux de chaleur) ;
- Temps de retour sur investissement (en années). Ce temps de retour sur investissement correspond au nombre d'années nécessaires afin que la valeur actuelle nette (VAN) devienne positive. Ce calcul est réalisé par rapport au scénario de référence et prend en compte l'actualisation. C'est cette VAN en comparaison au scénario de référence qui est représentée sous forme de graphique.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

4.3. Description des indicateurs environnementaux

Les indicateurs environnementaux utilisés dans le cadre de l'étude sont les suivants :

Energie primaire

L'énergie primaire est l'énergie « potentielle » contenue dans les ressources naturelles utilisées par les installations visées (comme le bois, le gaz, le pétrole, etc.), et cela avant toute transformation.

Energie finale

L'énergie finale est l'énergie consommée et facturée à chaque bâtiment, en tenant compte des pertes lors de la production, du transport et de la transformation du combustible. Les besoins énergétiques nets évaluent la quantité d'énergie que devront fournir les différents systèmes de chauffage et de refroidissement afin de garantir le confort thermique et la production d'ECS pour les usagers.

Ratio de consommation des ressources

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

Part d'EnR

Les énergies renouvelables (EnR en abrégé) sont des sources d'énergies dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain.

Emissions de GES

Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants qui contribuent à l'effet de serre de la planète. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est l'un des facteurs d'impact à l'origine du récent réchauffement climatique. Chaque GES ayant un effet différent sur le réchauffement global, cet indicateur est estimé en « équivalent CO_2 » ou « équivalent carbone ».

Emissions de SO_2 et NO_x

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant, notamment pour l'appareil respiratoire, et qui contribue avec les oxydes d'azote (NOx) et l'ammoniac (NH3), à la pollution acide. Les rejets de dioxyde de soufre (SO_2) sont dus en grande majorité à l'utilisation de combustibles fossiles soufrés (charbon, lignite, coke de pétrole, fioul lourd, fioul domestique, gazole, etc.).
Les oxydes d'azote (NOx) regroupent essentiellement deux types de molécules polluantes : le monoxyde d'azote (NO), et le dioxyde d'azote (NO2). Les NOx sont des gaz irritants et très nocifs pour la santé humaine, qui pénètrent dans les ramifications les plus fines des voies respiratoires et peuvent provoquer des difficultés respiratoires. Ils participent également à l'eutrophisation des sols et à l'augmentation de l'effet de serre. Ils sont généralement calculés en équivalents NO_2.

Emissions de déchets nucléaires

Les déchets de faible et moyenne activité sont essentiellement des déchets liés à la maintenance (vêtements, outils, gants, filtres…) et au fonctionnement des installations nucléaires (traitements d'effluents liquides ou gazeux). Ces déchets sont également issus d'opérations d'assainissement et de démantèlement.
Les déchets de haute activité sont ceux dont la gestion est prioritaire. Leur très forte radioactivité provient de la présence d'atomes extrêmement radioactifs dans le combustible usé déchargé des réacteurs.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

4.4. Scénario de référence

Ce scénario « classique » d'alimentation, sans recours à des énergies renouvelables, sert de base pour la comparaison avec les autres scénarios en termes de bilan économique et environnemental. Ainsi, le temps de retour calculé pour les différentes solutions est toujours lié à ce référentiel. C'est le scénario le moins ambitieux en matière de développement durable.

Description du scénario

La mise en œuvre de ce scénario est classique : les habitations collectives et les hôtels disposent d'une chaufferie avec une chaudière gaz à condensation produisant le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Les commerces produisent de la chaleur et du froid avec des PAC air/air, et de l'ECS avec des ballons électriques. Les besoins en froid des hôtels sont couverts par des PAC air/eau produisant de l'eau glacée. Quant aux logements individuels, ils possèdent leur propre chaudière gaz à condensation pour le chauffage et l'ECS. Enfin, l'ensemble des besoins d'électricité est assuré par le réseau électrique national.

Scénario	Typologie	Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Référence	Logements collectifs	Chaudière collective GAZ à condensation		-	Réseau national
	Logements individuels	Chaudière individuelle GAZ à condensation		-	Réseau national
	Commerces / Activités	PAC air/air	Ballons électriques	PAC air/air	Réseau national
	Hôtels	Chaudière collective GAZ à condensation		PAC air/eau	Réseau national

Figure 58. DESCRIPTION DU SCENARIO DE REFERENCE

Résultats économiques

Aucune subvention ne sera accordée puisque les équipements concernés ne sont pas des systèmes utilisant des énergies renouvelables au sens de l'ADEME. Les impacts financiers du scénario de référence sont les suivants :

Bilan économique	Chaleur	Froid	Electricité
Investissement total (€ TTC)	595 496	70 982	0
Subventions (€)	0	0	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	595 496	70 982	0
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	121,85	195,01	392,40
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	26,95	40,72	0,00
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	1,71	7,14	0,00
Efficacité financière			
Temps de retour (années)	-	-	-
Coût moyen de la chaleur (€ TTC/MWh)	165	422	392

Figure 59. BILAN ECONOMIQUE DU SCENARIO DE REFERENCE

L'investissement global pour ce scénario est de **666 478 €.**

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Résultats environnementaux

Les résultats environnementaux du scénario de référence sont les suivants :

Bilan environnemental	Chaleur	Froid	Electricité
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	3 714	196	6 636
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	3 283	62	2 107
Part d'EnR sur le bilan global	1%	49%	18%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	1,06	1,97	3,15
Émissions de GES (t eqCO_2 /an)	760,23	4,59	155,88
Émissions de SO_2 (t/an)	0,04	0,06	1,87
Émissions de NOx (t/an)	0,57	0,03	0,99
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	2,50	3,10	105,33
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0,50	0,62	21,07

Figure 60. BILAN ENVIRONNEMENTAL DU SCENARIO DE REFERENCE

Une part conséquente d'énergies renouvelables existe sur le vecteur froid car les PAC utilisent les calories de l'air. Le vecteur électricité comporte un taux EnR de 18%, lié à la production d'EnR composant le mix électrique français.

Ce scénario a été défini comme le scénario de référence, celui-ci constituant la solution la plus avantageuse économiquement à court et moyen terme (charges d'exploitation raisonnables pour les utilisateurs). Il présente toutefois un bilan environnemental peu satisfaisant avec de fortes émissions de GES, et demeure fortement dépendant des énergies fossiles. Il expose donc, à moyen et long terme, les occupants du futur projet à de fortes hausses de leur facture énergétique.

Chaque ilot dispose de sa production individuelle d'énergie. L'investissement dans les systèmes énergétiques des bâtiments est porté par le promoteur, qui inclut ce coût dans le prix de vente.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

4.5. Scénario Autonomie

Ce scénario analyse un important effort de transition énergétique, en comparaison avec le scénario de référence. L'objectif est de s'orienter clairement vers les énergies renouvelables avec le recours principal au bois énergie. La technologie solaire est également utilisée dans les bâtiments afin de tendre vers l'autonomie et l'indépendance énergétique.

Description du scénario

Le bois-énergie étant prépondérant dans ce scénario, il est intéressant de mutualiser les équipements de production dès que possible, sous la forme de micro-réseau de chaleur. Par exemple, il est plus pertinent d'installer une chaudière bois pour trois bâtiments d'habitations collectifs à proximité plutôt que d'en installer trois.

Scénario	Typologie	Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Bâtiment autonome	Logements collectifs	Chaudière collective BOIS plaquette forestière (appoint gaz)		-	Solaire PV + Réseau national
	Logements individuels	Poêle à BOIS granulés (avec radiateurs électriques en appoint)	Solaire Hybride (avec ballon électrique en appoint)	-	Solaire Hybride + Réseau national
	Commerces / Activités	Chaudière BOIS plaquette forestière		PAC air/eau	Solaire PV + Réseau national
	Hôtels	Chaudière BOIS plaquette forestière (appoint gaz)		PAC air/eau	Solaire PV + Réseau national

Figure 61. DESCRIPTION DU SCENARIO AUTONOMIE

Les logements collectifs et les hôtels disposent d'une chaudière bois utilisant de la plaquette forestière comme combustible pour le chauffage et l'ECS. Cette chaudière permet de couvrir 80% des besoins en chaleur, le reste étant produit par une chaudière d'appoint gaz (*cf 3.4 bois énergie – biénergie*). Des panneaux solaires photovoltaïques sont installés en toiture pour produire de l'électricité. Les besoins en froid de l'hôtellerie sont couverts par des groupes froids.

Le chauffage central des maisons individuelles correspond au poêle à granulés. Usuellement, ce système est utilisé en chauffage d'appoint, mais la bonne performance énergétique des logements permet de le faire fonctionner en tant que source principale de chaleur. On installera toutefois des radiateurs chaleur douce à pilotage intelligent en appoint. De plus, des panneaux solaires hybrides sont installés en toiture de chaque maison, afin de produire une partie des besoins en ECS et en électricité.

Quant aux commerces, ils possèdent une chaudière bois, un groupe froid et des panneaux solaires photovoltaïques en toiture pour la production d'électricité.

Analyse d'ensoleillement et dimensionnement des technologies solaires

Afin de connaître la proportion réelle d'énergie produite par les technologies solaires, il faut prendre en compte les contraintes réelles comme les ombrages, l'espacement entre panneaux sur toiture-terrasse, les conflits d'usage etc. Afin de réaliser cette évaluation, la méthodologie développée par Vizea consiste à :

- réaliser la maquette 3D du projet,
- simuler l'ensoleillement du quartier et les masques solaires à travers l'année,
- exclure les zones importantes de conflit d'usage, mal orientées ou soumises à un ombrage trop important,
- implanter les panneaux solaires en tenant compte des contraintes opérationnelles et estimer la production d'énergie.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

On supposera que toutes les toitures sont sous la forme de toiture-terrasse :

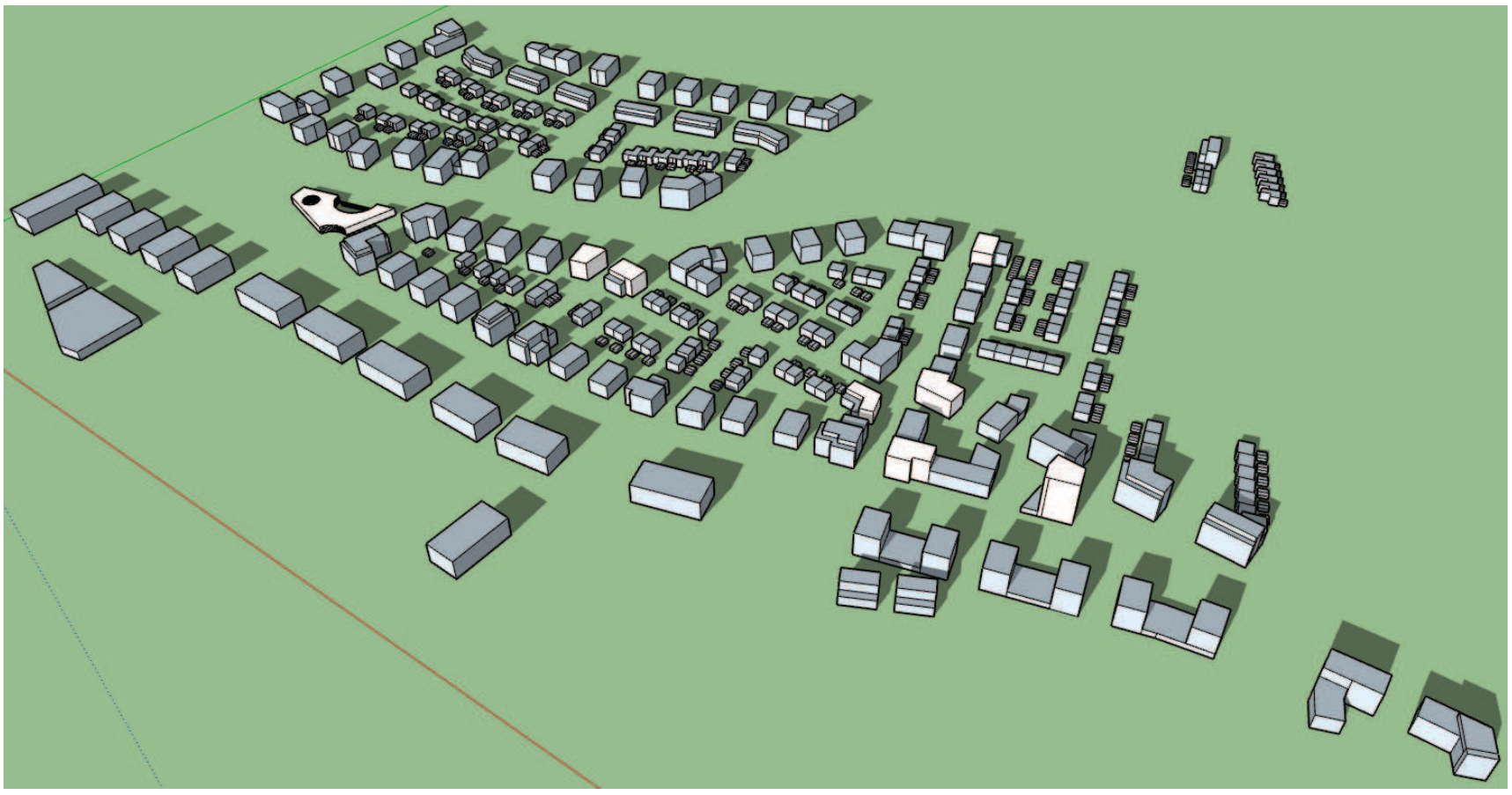


Figure 62. CONSTRUCTION DE LA MAQUETTE 3D DU QUARTIER (VIZEA)

Ensuite, l'étude des masques solaires est réalisée pour identifier les toitures les plus propices à la technologie solaire et exclure les toitures mal orientées ou trop ombragées. On calcule ainsi le ratio de réception direct, qui correspond à l'exposition moyenne au soleil durant l'année. 100% signifie que l'élément est toujours exposé au soleil (en absence de nuages et sauf la nuit) et 0% signifie que l'élément n'est jamais exposé. Ce calcul prend donc en compte les ombres portées et propres.

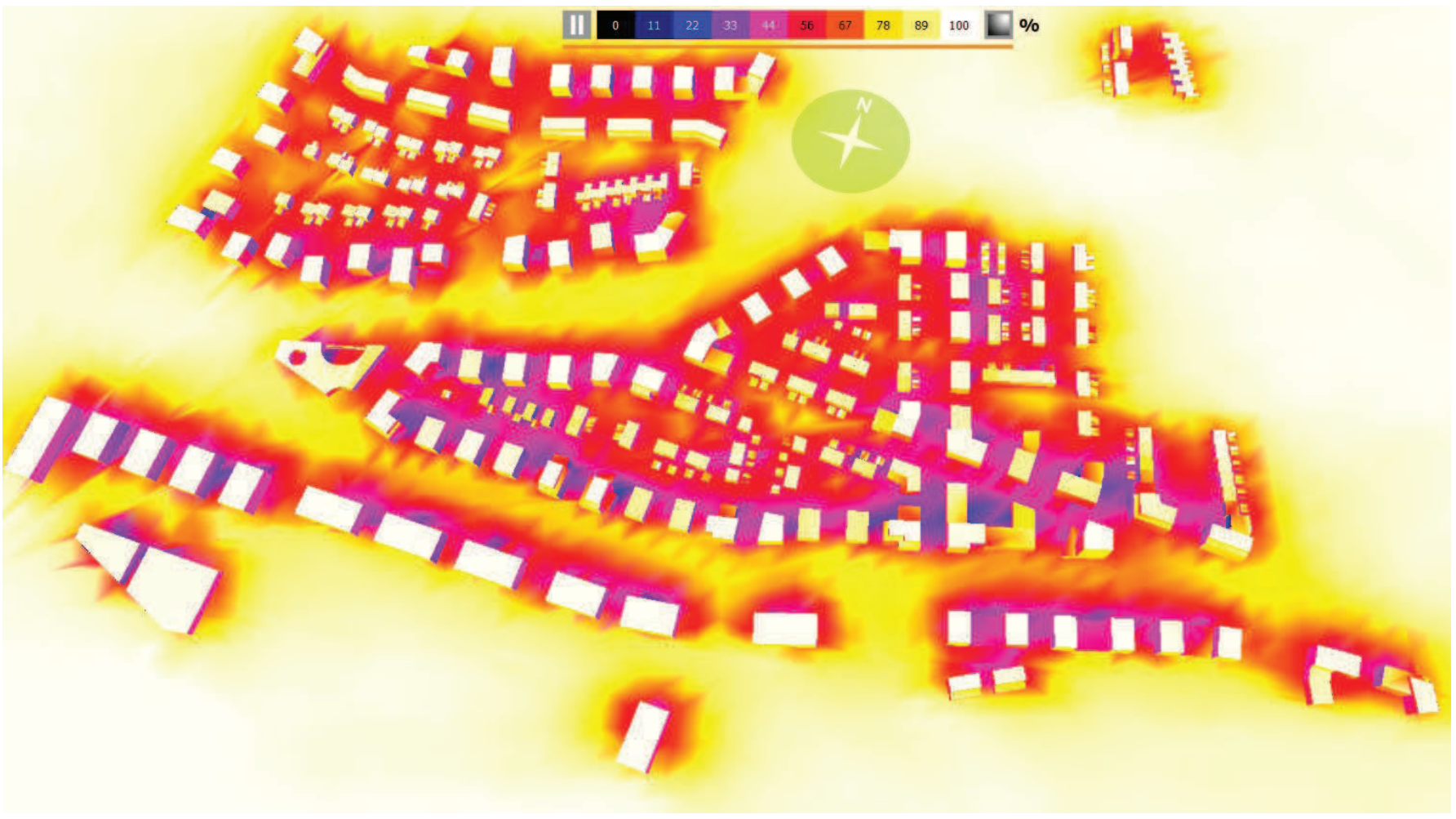


Figure 63. ANALYSE DES MASQUES SOLAIRES DU QUARTIER

On observe **un contexte urbain très favorable à la technologie solaire**, avec la très faible présence de masques solaires en toiture. Les toitures les plus hautes des bâtiments collectifs ne sont jamais impactées et les maisons individuelles disposent de masques peu significatifs (ratio autour de 90%). La présence d'arbre peut cependant dégrader ce résultat au cas par cas.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

On représente à présent le gisement solaire sur les toitures :



Figure 64. ANALYSE DU GISEMENT SOLAIRE SUR LE QUARTIER

Le gisement est estimé à **1074 kWh/m²** sur les toitures terrasses. Ce potentiel est plus important sur des panneaux photovoltaïques orientés plein sud et dotés d'une inclinaison de 30° par rapport à l'horizontal. Il est suffisamment important pour recourir à la technologie solaire.

Remarque : il serait pertinent de travailler la morphologie urbaine du bâtiment ciblé pour orienter sa longueur vers le sud. En effet, ce bâtiment dispose de la plus grande longueur du projet et la modification de son orientation permettrait d'installer plus de panneaux solaires en série.

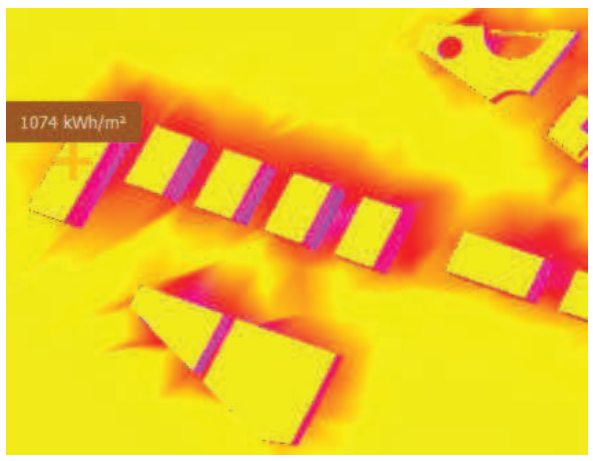


Figure 65. MORPHOLOGIE URBAINE D'UN BATIMENT

L'analyse démontre qu'en première approche, aucun bâtiment n'est à exclure pour l'installation de panneaux solaires. Nous prenons le parti d'écarter toutefois les toitures intermédiaires ou le risque de conflit d'usage est important.

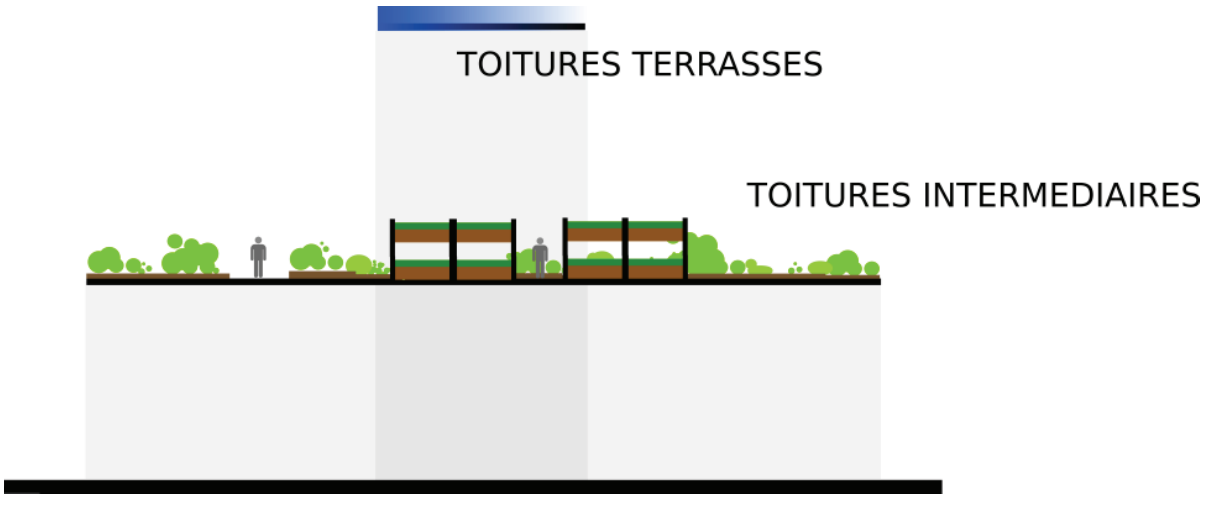


Figure 66. PRINCIPE D'EXCLUSION DES TOITURES INTERMEDIAIRES

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Dimensionnement des panneaux hybrides sur les maison individuelles

On effectue à présent le dimensionnement des panneaux solaires hybrides sur les maisons individuelles, qui permet notamment de calculer les pertes de production liées aux ombrages. On observe uniquement trois zones où les pertes de production sont conséquentes et où une réflexion plus avancée est nécessaire sur la pertinence des panneaux solaires :



Figure 67. IMPLANTATION DES PANNEAUX HYBRIDES SUR LES MAISONS INDIVIDUELLES

Cette configuration représente une surface de **1325 m²** de panneaux solaires hybrides pour **une production électrique de 213 172 kWh/an** et **une production d'ECS de 125 875 kWh/an**. Si on se concentre uniquement sur la partie électrique, on peut représenter la production en fonction de la consommation :

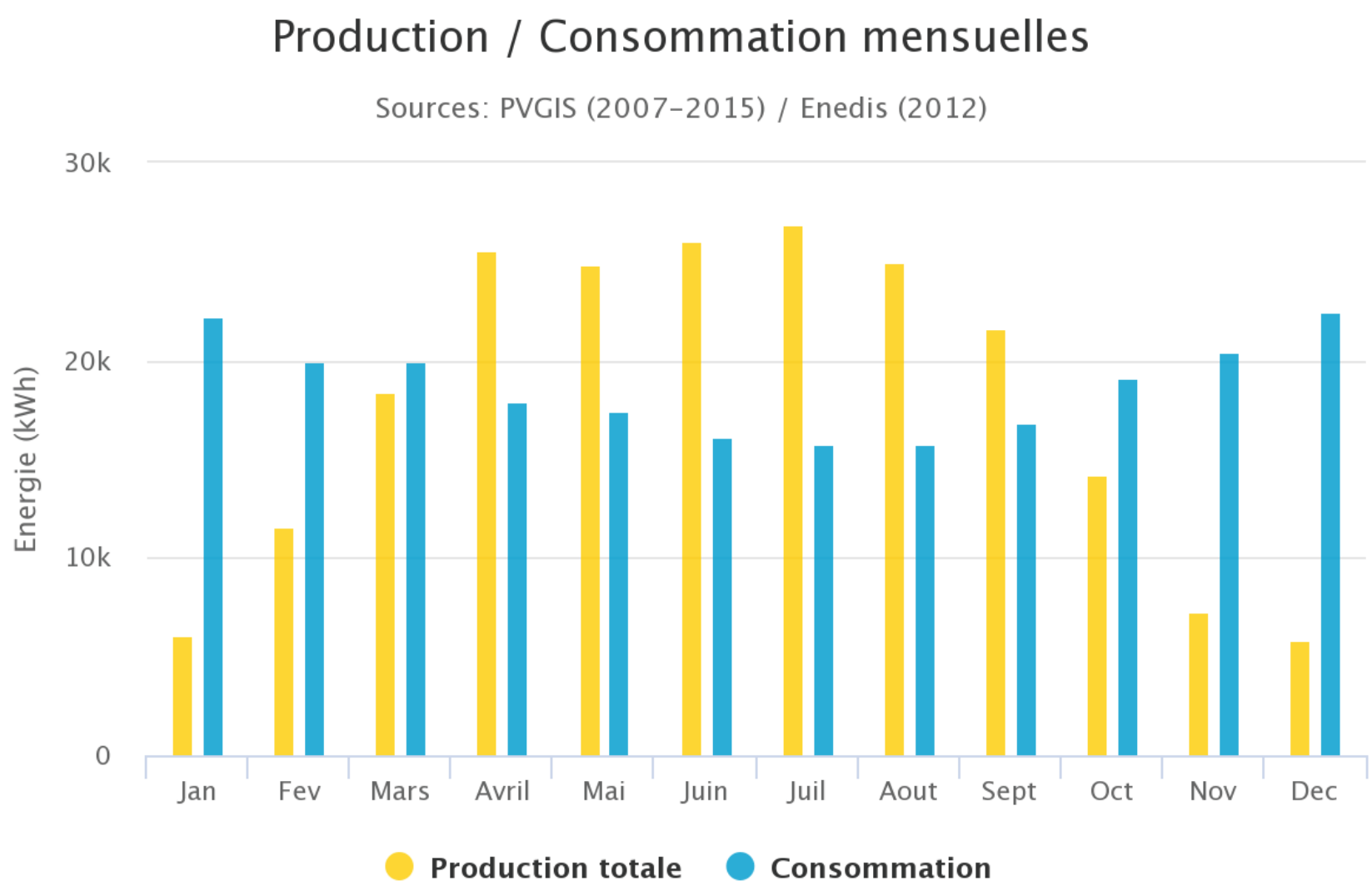


Figure 68. PRODUCTION ELECTRIQUE DES PANNEAUX HYBRIDES EN FONCTION DE LA CONSOMMATION DES MAISONS INDIVIDUELLES

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Plusieurs configurations sont possibles pour l'exploitation de la production électrique : vente de l'électricité à un acheteur obligé, autoconsommation avec revente du surplus ou autoconsommation en totalité. Les logements ont un profil de consommation particulier avec des pics de consommation électrique à certains moments de la journée et des creux. Ainsi, il n'est pas possible d'autoconsommer toute la production solaire, d'autant plus que celle-ci est plus importante en été que la consommation. Ainsi, il faut privilégier en première instance soit la vente totale, soit l'autoconsommation avec revente du surplus. Il faut donc pouvoir injecter de l'électricité dans le réseau et raccorder l'installation. Les résultats d'autoconsommation sont les suivants :

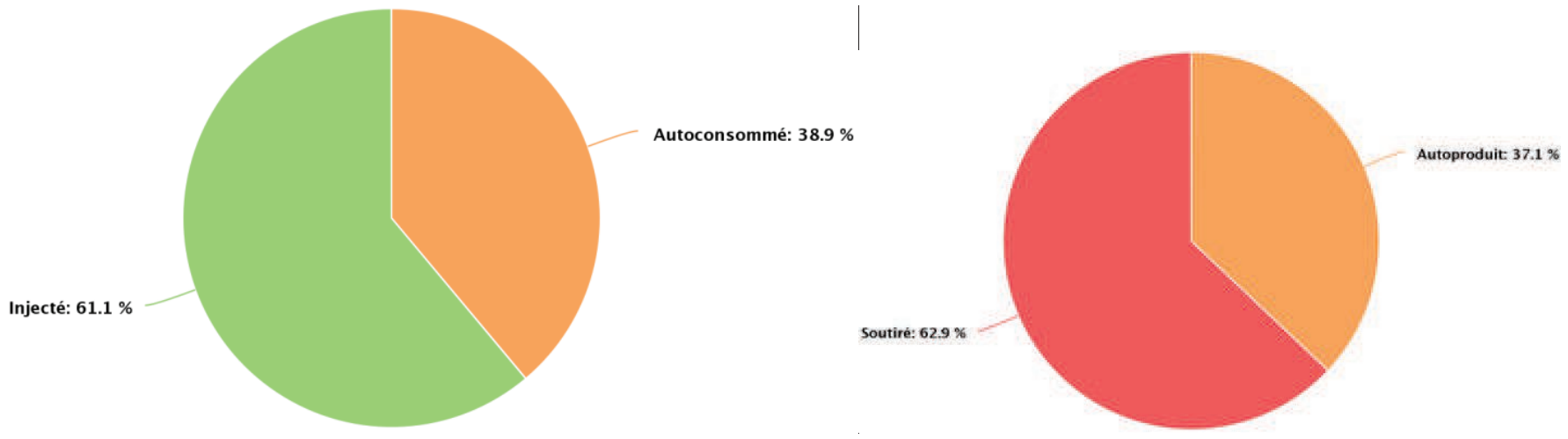


Figure 69. RESULTATS D'AUTOCONSOMMATION ET D'AUTOPRODUCTION POUR LA PRODUCTION ELECTRIQUE DES PANNEAUX HYBRIDES

Dans le cas de l'autoconsommation, 38,9% de la production serait autoconsommée, ce qui permettrait de couvrir 37,1% des besoins électriques des maisons individuelles. Le surplus de production, qui correspond à 61,1%, serait injecté dans le réseau et rémunéré par un tarif d'achat défini par arrêté (10c€/kWh). Les différences en termes de gains financiers entre la vente en totalité de la production et l'autoconsommation avec revente du surplus sont présentées ci-dessous (calcul sur 30 ans qui prend en compte la dégradation des installations, l'actualisation des prix de l'électricité etc.) :

Type de contrat	Aides	Gains		Total
		Revente	Economie	
Consommateur en vente totale	0 €	966 949 €	0 €	**966 949 €**
Consomm'Acteur en injection partielle	86 486 €	317 702 €	679 031 €	**1 083 219 €**

Figure 70. RENTABILITE ECONOMIQUE SUR LA PRODUCTION ELECTRIQUE DES MAISONS SELON LA CONFIGURATION

Ainsi, le calcul démontre que l'autoconsommation avec revente du surplus doit être privilégiée par rapport à la vente totale.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Dimensionnement des panneaux photovoltaïques sur les autres typologies

L'implantation des panneaux solaires photovoltaïques est réalisée sur tous les bâtiments, exceptés les maisons individuelles. Aucune toiture n'est impactée par des ombrages significatifs :

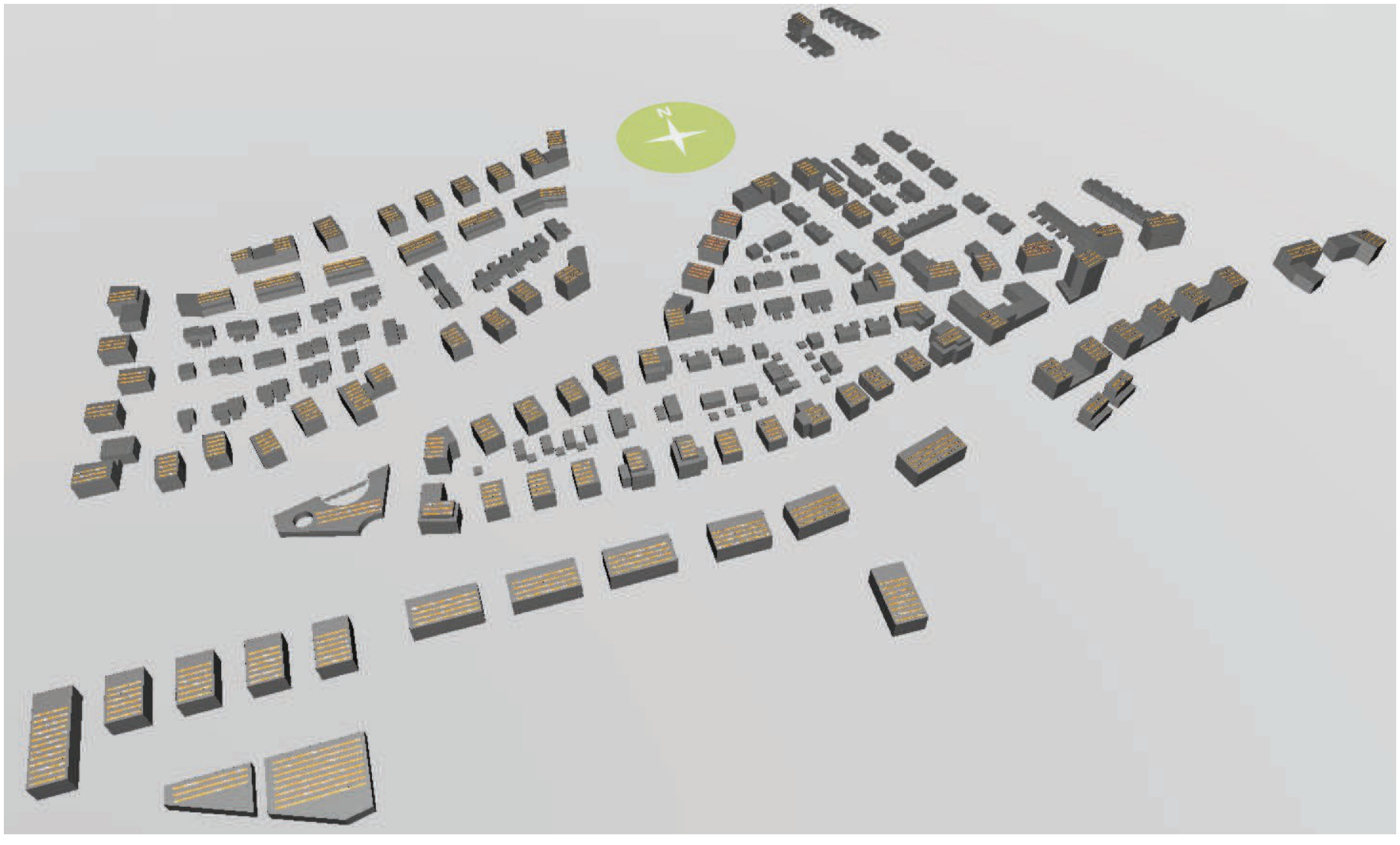


Figure 71. IMPLANTATION DES PANNEAUX PV

Cette configuration représente une surface de **5936 m²** de panneaux solaires PV, pour une puissance cumulée de **765 kWc** pour **une production électrique de 840 587 kWh/an**. La production en fonction de la consommation est donnée ci-dessous :

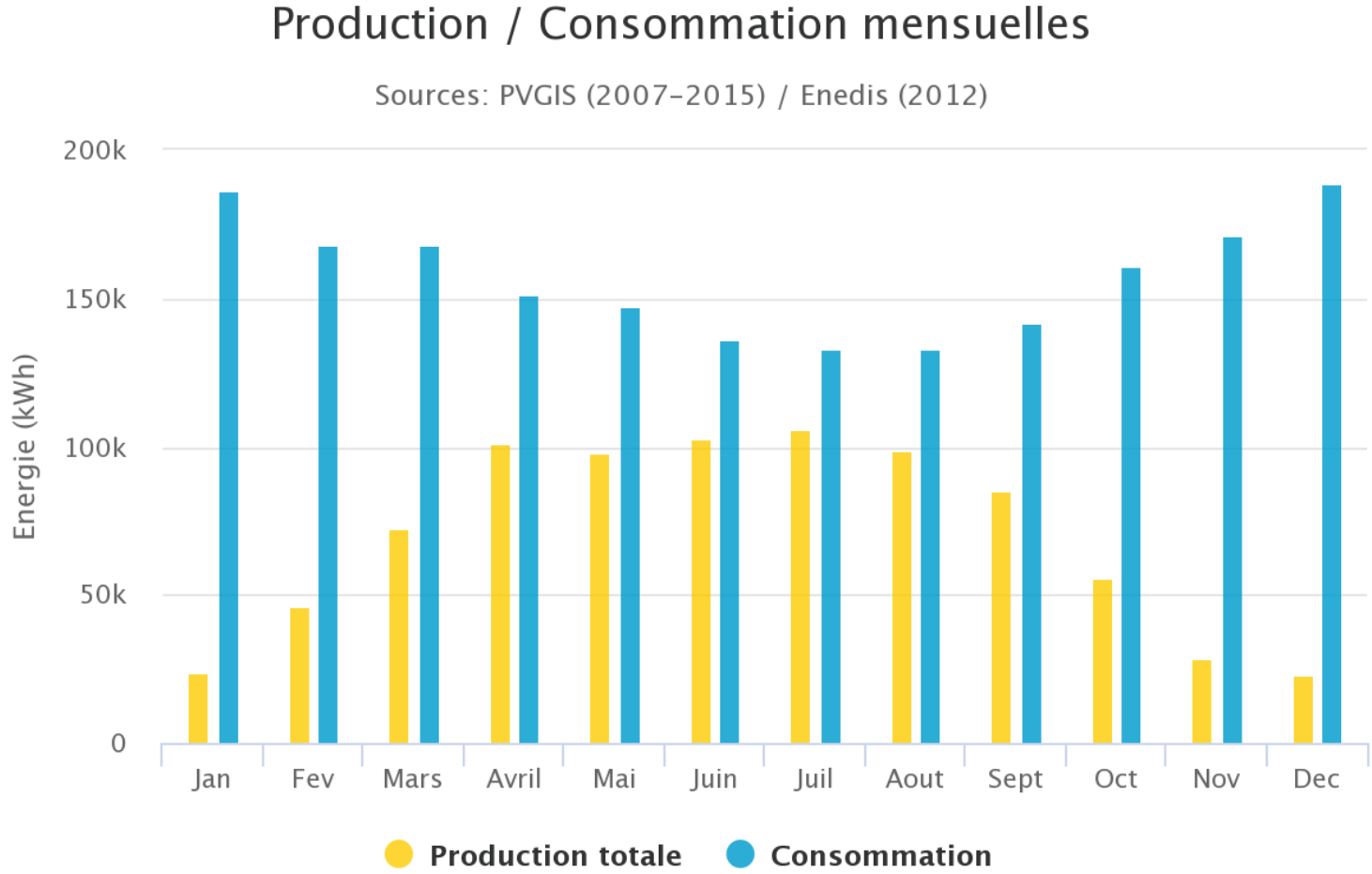


Figure 72. PRODUCTION ELECTRIQUE DES PANNEAUX PV EN FONCTION DE LA CONSOMMATION

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Il a été démontré que l'autoconsommation avec revente du surplus était la plus intéressante sur le projet. Les taux d'autoconsommation et d'autoproduction liés au système global installé sont les suivants :

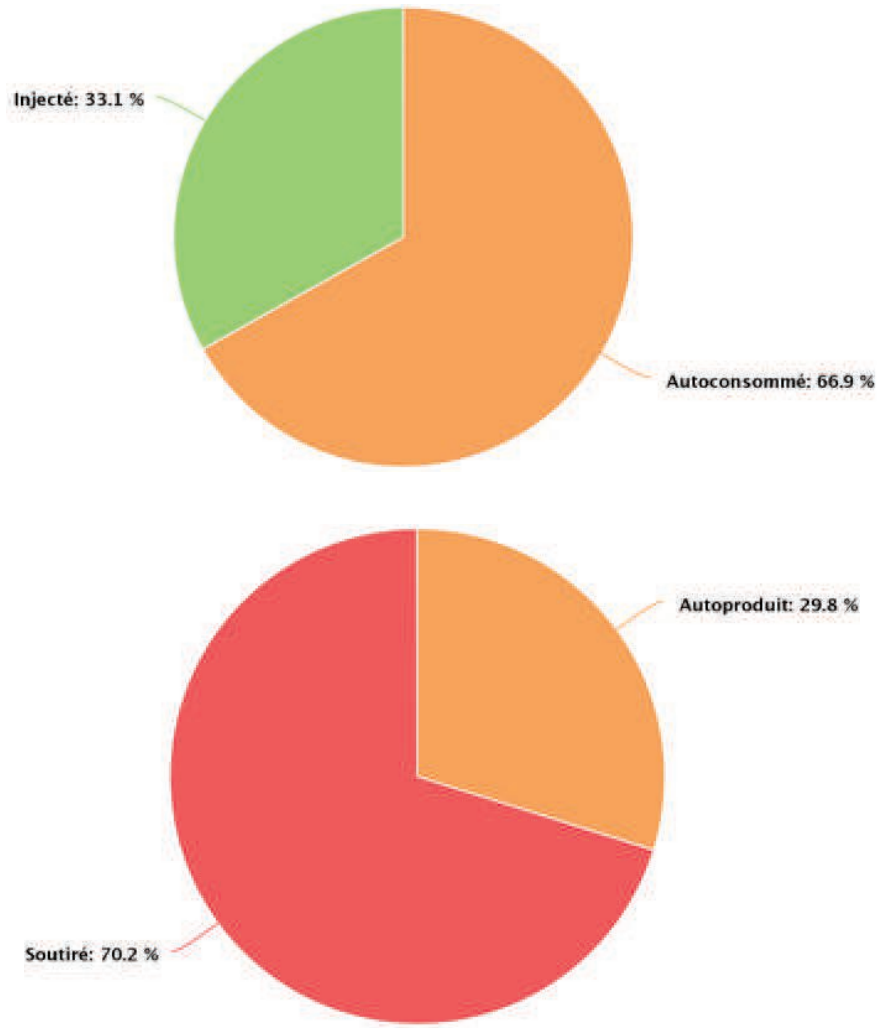


Figure 73. RESULTATS D'AUTOCONSOMMATION ET D'AUTOPRODUCTION DES PANNEAUX PV

67% de la production serait autoconsommée, ce qui permettrait de **couvrir 30% des besoins électriques** du quartier en excluant les maisons individuelles. Le surplus de production, qui correspond à 33%, serait injecté dans le réseau et rémunéré par un tarif d'achat défini par arrêté, qui est fonction de la puissance. Il est ainsi nécessaire de distinguer les installations où la puissance est supérieure à 9kWc des installations inférieures ou égales à 9kWc.

Distinction des installations	Production injectée cumulée sur la première année (kWh)	Gain de la revente sur la première année	Dégradation de l'installation (%)	Gain total sur 30 ans (€)
Inférieure ou égale à 9 kWc	163 349	**16 334,90 €**	0,5	**647 191 €**
Supérieure à 9 kWc	114 045	**6 842,68 €**		

Figure 74. CALCUL DU GAIN TOTAL LIE A LA REVENTE DU SURPLUS

Une prime à l'investissement est également attribuée selon la distinction de puissance :

Distinction des installations	Puissance cumulée (Wc)	Prime à l'investissement	Prime totale étalée sur 5 ans
Inférieure ou égale à 9 kWc	450 550	**130 659,50 €**	**186 167 €**
Supérieure à 9 kWc et inférieur ou égale à 36kWc	272 250	**51 727,50 €**	
Supérieur à 36 kWc	42 000	**3 780 €**	

Figure 75. PRIME A L'INVESTISSEMENT POUR L'AUTOCONSOMMATION AVEC REVENTE DU SURPLUS

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Résultats économiques

Seules les installations solaires photovoltaïques peuvent bénéficier de subvention dans notre scénario, grâce à la prime à l'investissement pour l'autoconsommation et la revente du surplus de production. Les chaufferies bois du projet ne sont pas éligibles au Fonds Chaleur en raison d'un trop faible besoin thermique. Les résultats économiques du scénario sont les suivants :

Bilan économique	Chaleur	Froid	Electricité
Investissement total (€ TTC)	3 721 261	131 586	2 216 438
Subventions (€)	0	0	1 237 500
Investissement non subventionné (€ TTC)	3 721 261	131 586	978 938
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	33,92	156,19	271,71
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	23,03	112,61	4,52
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	4,12	13,23	7,17
Efficacité financière			
Temps de retour (années)	30	>30 ans	9
Coût moyen de la chaleur (€ TTC/MWh)	140	641	297

Figure 76. BILAN ECONOMIQUE DU SCENARIO AUTONOMIE

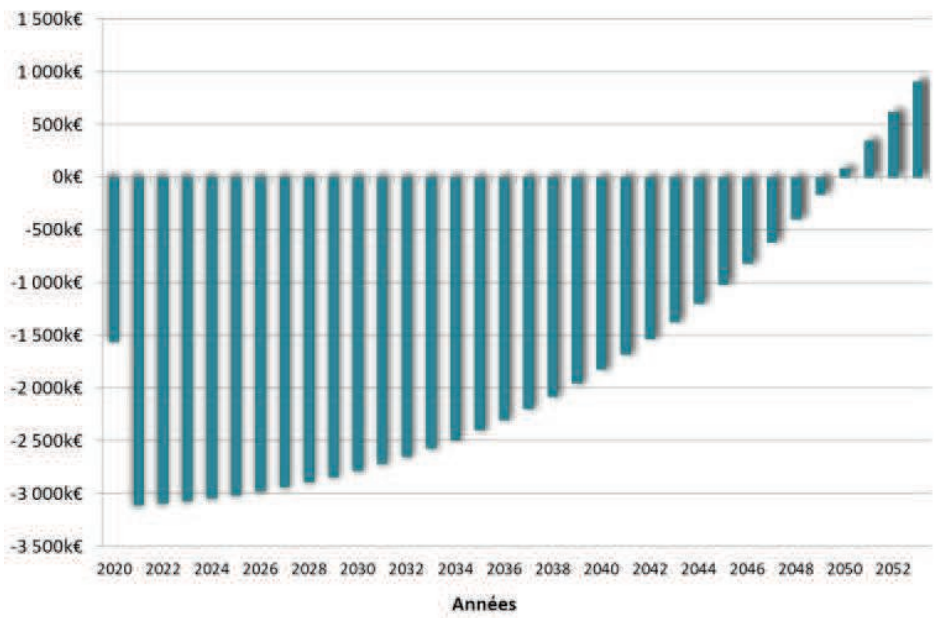


Figure 77. VAN POUR LE VECTEUR CHALEUR

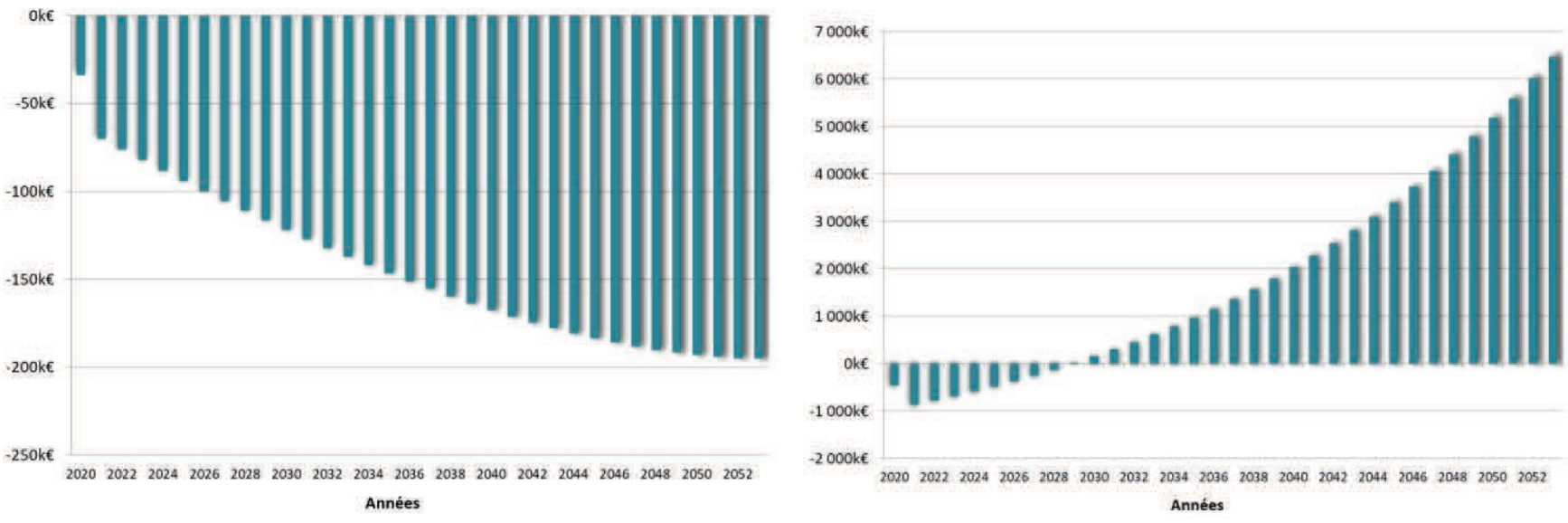


Figure 78. VAN POUR LE VECTEUR FROID ET ELECTRICITE

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Résultats environnementaux

Les résultats environnementaux du scénario Autonomie sont les suivants :

Bilan environnemental	Chaleur	Froid	Electricité
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	1 821	157	4 596
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	3 622	50	2 107
Part d'EnR sur le bilan global	82%	59%	43%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	0,52	1,58	2,18
Émissions de GES (t eqCO_2 /an)	144,15	3,68	107,96
Émissions de SO_2 (t/an)	0,10	0,04	1,30
Émissions de NOx (t/an)	1,05	0,02	0,69
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	5,37	2,49	72,95
Déchets nucléaires HA (kg/an)	1,07	0,50	14,59

Figure 79. BILAN ENVIRONNEMENTAL DU SCENARIO AUTONOMIE

L'investissement est 9 fois supérieur au scénario de référence car il multiplie les systèmes à énergies renouvelables, dans le but d'obtenir une performance environnementale optimale.

Vecteur chaleur : Les indicateurs du vecteur chaleur (qui prennent en compte les chaudières et poêles à bois, les radiateurs électriques et le solaire hybride pour l'ECS) démontrent un temps de retour de 30 ans par rapport au scénario de référence. Ce temps de retour est important car il correspond généralement à la fin de vie maximum des systèmes producteurs. Le coût de l'énergie est moins important en raison de la ressource solaire gratuite pour l'ECS et d'un combustible bois moins onéreux que le gaz et que l'électricité des pompes à chaleur pour le chauffage des commerces du scénario de référence. Du point de vue environnemental, les investissements calculés permettent d'aboutir au meilleur résultat possible sur le quartier. En effet, le taux EnR chaleur passe de 1% dans le scénario de référence à **82%** dans ce scénario. Les émissions de GES diminuent de 81% et le ratio de consommation des ressources devient exemplaire. Le seul inconvénient consiste en l'augmentation des déchets nucléaires liée à l'installation de radiateurs électriques en appoint, mais ce résultat est amené à diminuer avec le temps avec la diminution du nucléaire dans le mix électrique français.

Vecteur froid : Les résultats économiques sont plus performants dans le scénario de référence que dans le scénario Autonomie car nous passons d'un système technique pour environ le même investissement qui produit à la fois du chaud et du froid à un système qui produit uniquement du froid avec des coûts d'exploitation importants. Ainsi, les PAC air/eau n'observent pas de rentabilité économique dans le temps en comparaison des PAC air/air réversibles mais elles permettent d'améliorer légèrement le bilan environnemental pour la production de froid.

Vecteur électricité : Le vecteur électricité traduit l'investissement réalisé pour les panneaux solaires photovoltaïques et la production électrique des panneaux solaires hybrides. Les subventions indiquées ne sont pas attribuées au démarrage du projet mais tout au long de la vie des panneaux (primes à l'investissement + tarif d'achat du surplus de production). L'autoconsommation permet de réduire une partie de la consommation électrique venant du réseau et permet des économies importantes sur la facture énergétique. Le temps de retour des panneaux PV est de 12 ans. En y intégrant les panneaux solaires hybrides qui disposent d'une meilleure efficacité, le temps de retour global est de 9 ans. L'efficacité financière et le bilan environnemental sont particulièrement améliorés.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

4.6. Scénario Réseau de chaleur + panneaux PV

Ce scénario étudie la pertinence du raccordement au réseau de chaleur SODC. La chaufferie biomasse du réseau est localisée dans le périmètre d'étude, ce qui permet de limiter considérablement les investissements de raccordement. Cette solution est intéressante d'un point de vue opérationnel car la production est mutualisée et gérée par le délégataire du réseau. De plus, le réseau dispose d'un fort taux EnR. Ainsi, le raccordement possède un fort enjeu environnemental. On considère également l'implantation de panneaux photovoltaïques sur les toitures des bâtiments selon le dimensionnement réalisé dans le scénario précédent.

Description du scénario

Le déploiement de ce scénario implique le raccordement des différents bâtiments au réseau de chaleur existant. Cela implique de réserver une sous-station dans chaque bâtiment pour y intégrer l'échangeur de chaleur, qui transmet les calories du réseau urbain au réseau secondaire du bâtiment.

Scénario	Typologie	Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Réseau de chaleur + PV	Logements collectifs	Raccordement au réseau de chaleur SODC Bois avec appoint gaz	-		Solaire PV + Réseau national
	Logements individuels	Raccordement au réseau de chaleur SODC Bois avec appoint gaz	-		Solaire PV + Réseau national
	Commerces / Activités	Raccordement au réseau de chaleur SODC Bois avec appoint gaz	PAC air/eau		Solaire PV + Réseau national
	Hôtels	Raccordement au réseau de chaleur SODC Bois avec appoint gaz	PAC air/eau		Solaire PV + Réseau national

Figure 80. DESCRIPTION DU SCENARIO RESEAU DE CHALEUR + PV

Le tracé linéaire du raccordement au réseau est réalisé en utilisant les voiries du projet afin de limiter les investissements :

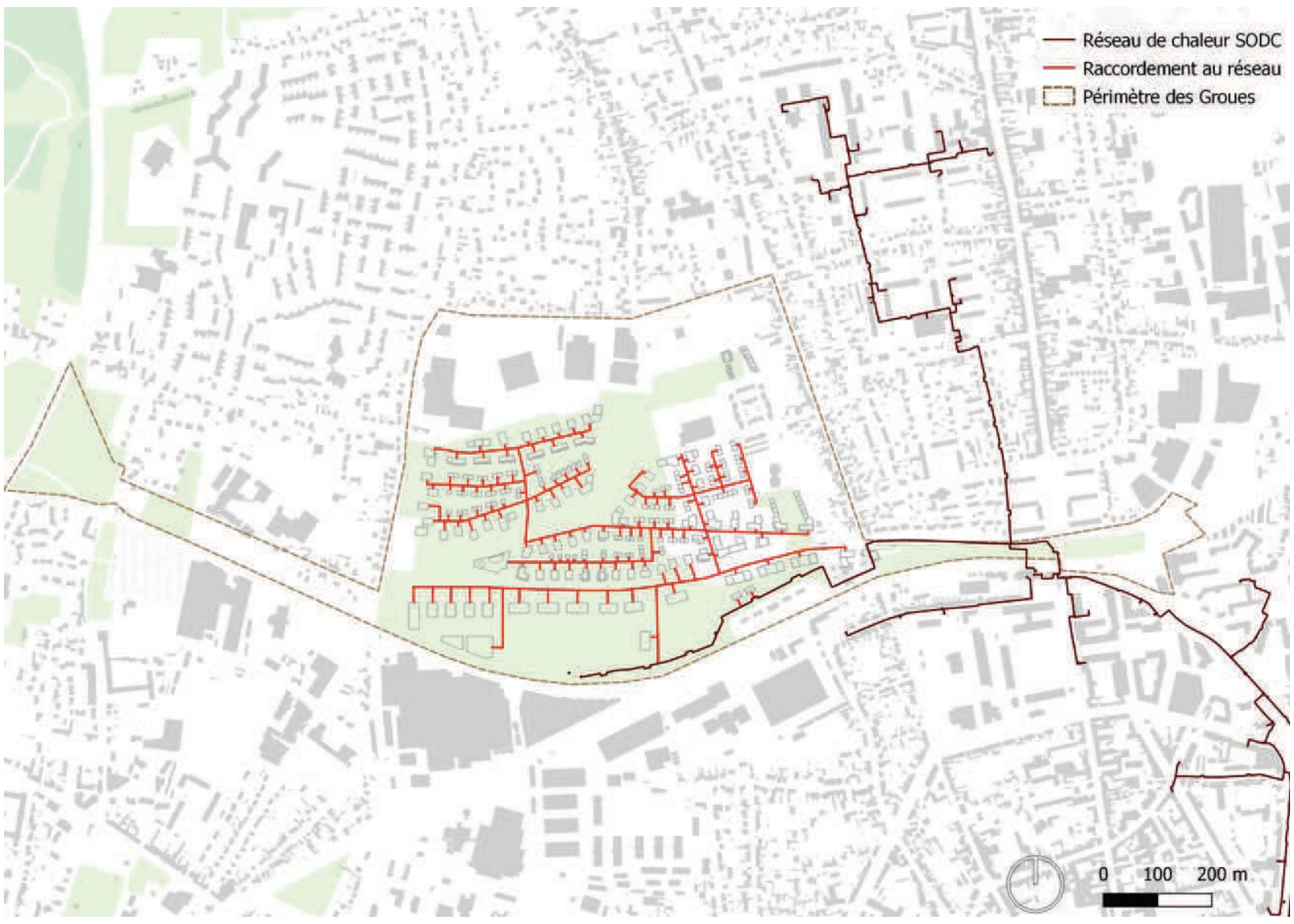


Figure 81. TRACE LINEAIRE DU RACCORDEMENT AU RESEAU DE CHALEUR SODC

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

La longueur du raccordement est de **5165 mètres linéaires**. La corrélation avec les besoins énergétiques du quartier aboutit à une densité énergétique critique de **0,67 MWh/ml**, bien en dessous du seuil minimum de 1,5 MWh/ml préconisé par l'ADEME. Pour rappel, le mix énergétique du réseau est présenté ci-dessous :

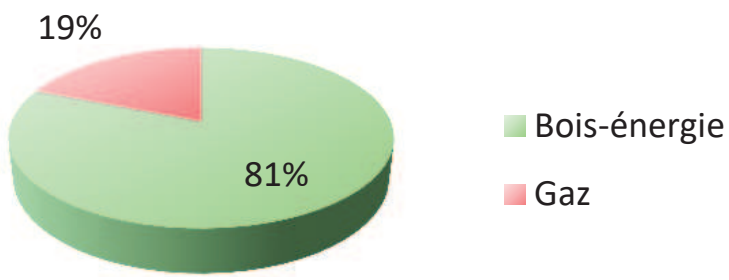


Figure 82. MIX ENERGETIQUE DU RESEAU DE CHALEUR SODC

Résultats économiques

Pour rappel, les tarifs pratiqués par le réseau sont les suivants :

- Tarif proportionnel à la consommation **R1 = 51.49 € HT / MWH**
- Tarif proportionnel à la puissance souscrite **R2 = 44.26 € HT / KW / an**

L'investissement pour le vecteur chaleur correspond au coût d'aménagement du réseau (estimé à 600€ le mètre linéaire) et aux sous-stations installées dans chaque bâtiment.

Dans cette configuration urbaine, il n'est pas possible d'obtenir les subventions du fonds chaleur. En effet, la densité énergétique est très faible et n'atteint pas le seuil critique de 1,5 MWh/ml/an.

Les impacts financiers du scénario réseau de chaleur + PV sont les suivants :

Bilan économique	Chaleur	Froid	Electricité
Investissement total (€ TTC)	3 340 920	131 586	1 905 875
Subventions (€)	0	0	1 237 485
Investissement non subventionné (€ TTC)	3 340 920	131 586	668 390
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	108,64	156,19	271,71
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	19,77	112,61	5,50
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	9,57	13,23	9,05
Efficacité financière			
Temps de retour (années)	> 30 ans	> 30 ans	7
Coût moyen de la chaleur (€ TTC/MWh)	110	641	295

Figure 83. BILAN ECONOMIQUE DU SCENARIO RESEAU DE CHALEUR + PV

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

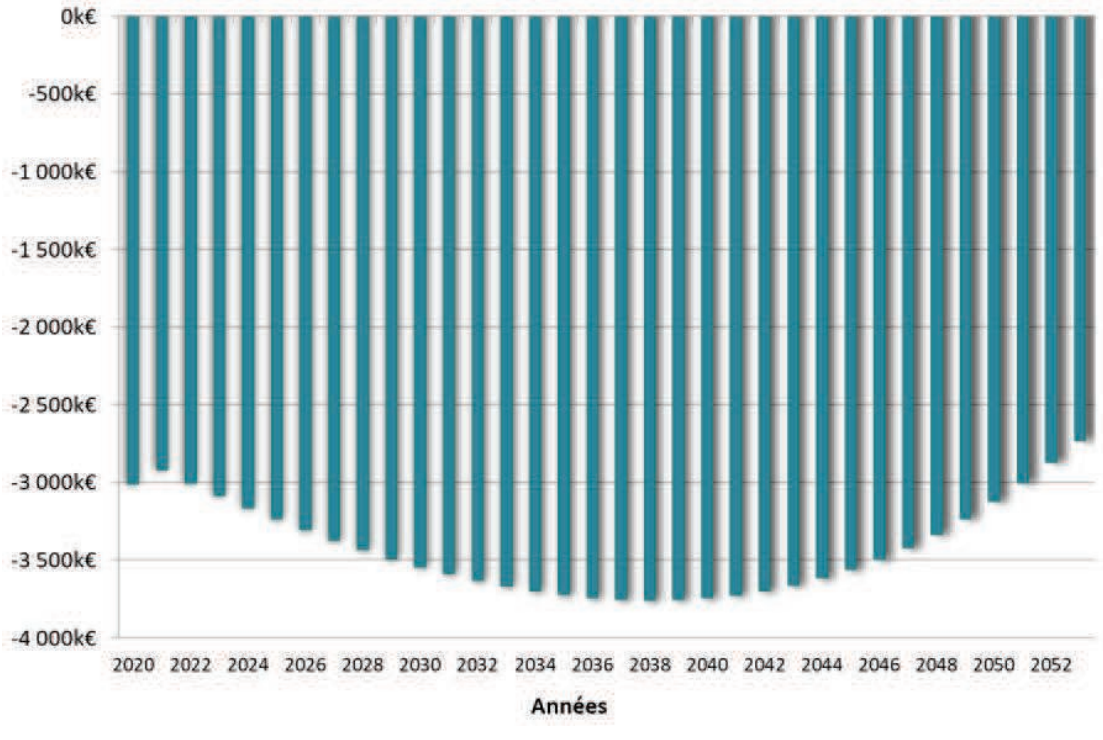


Figure 84. VAN POUR LE VECTEUR CHALEUR

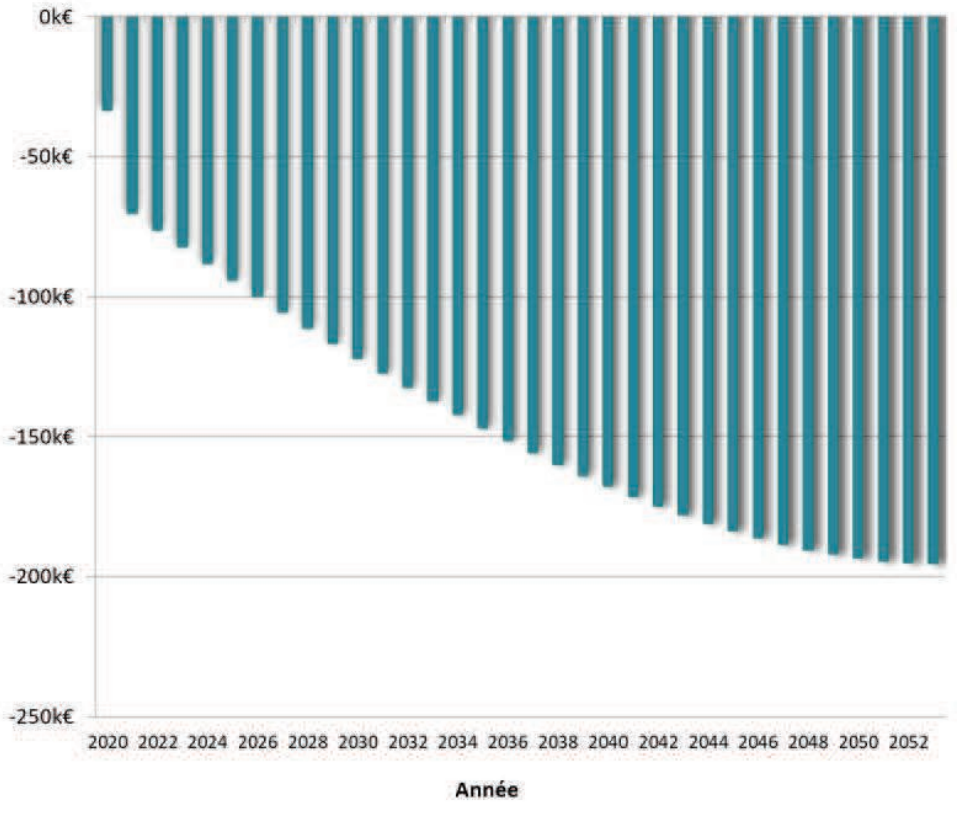


Figure 85. VAN POUR LE VECTEUR FROID

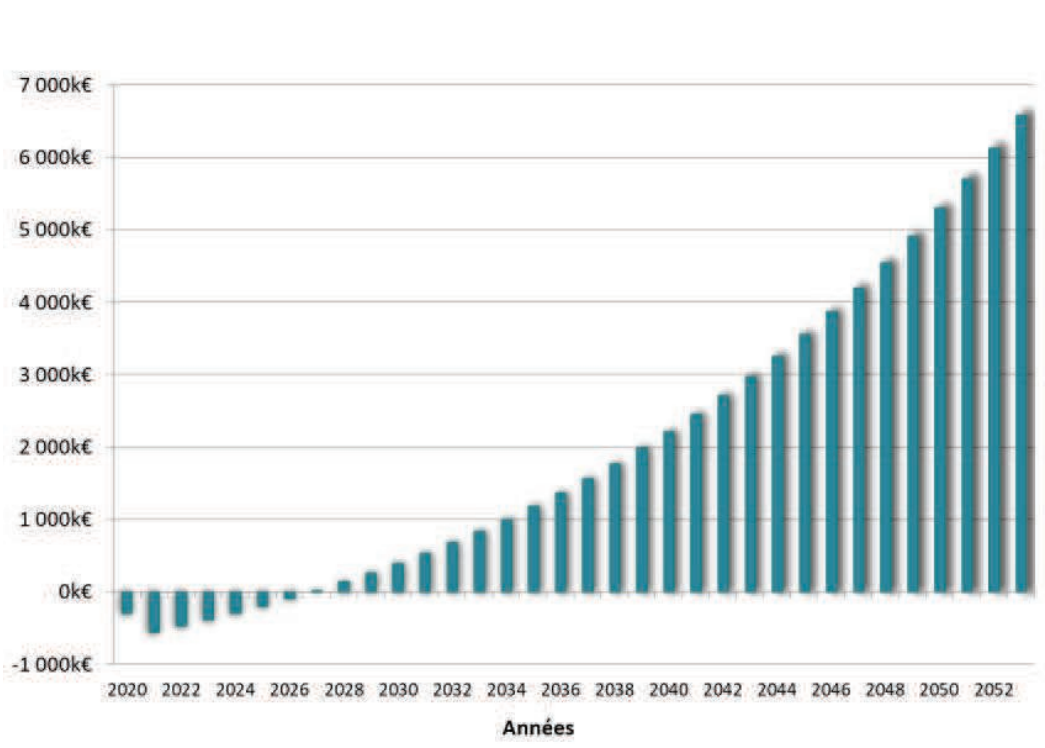


Figure 86. VAN POUR LE VECTEUR ELECTRICITE

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Résultats environnementaux

Bilan environnemental	Chaleur	Froid	Electricité
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	1 845	157	4 596
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	4 081	50	2 107
Part d'EnR sur le bilan global	81%	59%	43%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	0,53	1,58	2,18
Émissions de GES (t eqCO_2 /an)	181,46	3,68	107,96
Émissions de SO_2 (t/an)	0,00	0,04	1,30
Émissions de NOx (t/an)	1,19	0,02	0,69
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	0,00	2,49	72,95
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0,00	0,50	14,59

Figure 87. BILAN ENVIRONNEMENTAL DU SCENARIO RESEAU DE CHALEUR + PV

Ce scénario démontre que le raccordement au réseau de chaleur permet d'obtenir sensiblement les mêmes performances environnementales que d'installer des multitudes de technologies à énergies renouvelables dans chaque bâtiment, ce qui est très complexe d'un point de vue opérationnel. Cependant, la faible densité urbaine avec une part considérable de logements individuels et l'habitat très « diffus » du projet sont des éléments peu concordants avec la mise en place d'un réseau de chaleur. Ainsi, si le raccordement au réseau devient un invariant du projet, il convient de requestionner la configuration du projet urbain afin d'augmenter la densité énergétique, qui permettra d'obtenir des subventions du fonds chaleur et de rentabiliser le système.

Concernant le vecteur électricité, la technologie solaire photovoltaïque a été retenue dans ce scénario. Elle est beaucoup moins onéreuse que le solaire hybride (qui a cependant l'avantage de produire du chaud et de l'électricité) et permet ainsi un meilleur temps de retour sur investissement pour la production d'électricité.

Les systèmes du vecteur froid sont identiques au scénario Autonomie.

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

5.SYNTHESE COMPARATIVE

5.1. Bilan environnemental

L'indicateur caractéristique du bilan environnemental des scénarios est l'émission de gaz à effet de serre. Le « ratio de consommation de ressources » est un autre indicateur intéressant, qui représente le rapport entre l'énergie primaire consommée et la consommation totale. Il permet d'observer ce qui est ponctionné à la planète en fonction des différents scénarios. Enfin, le dernier indicateur pertinent est le taux EnR qui mesure la part d'énergies renouvelables.

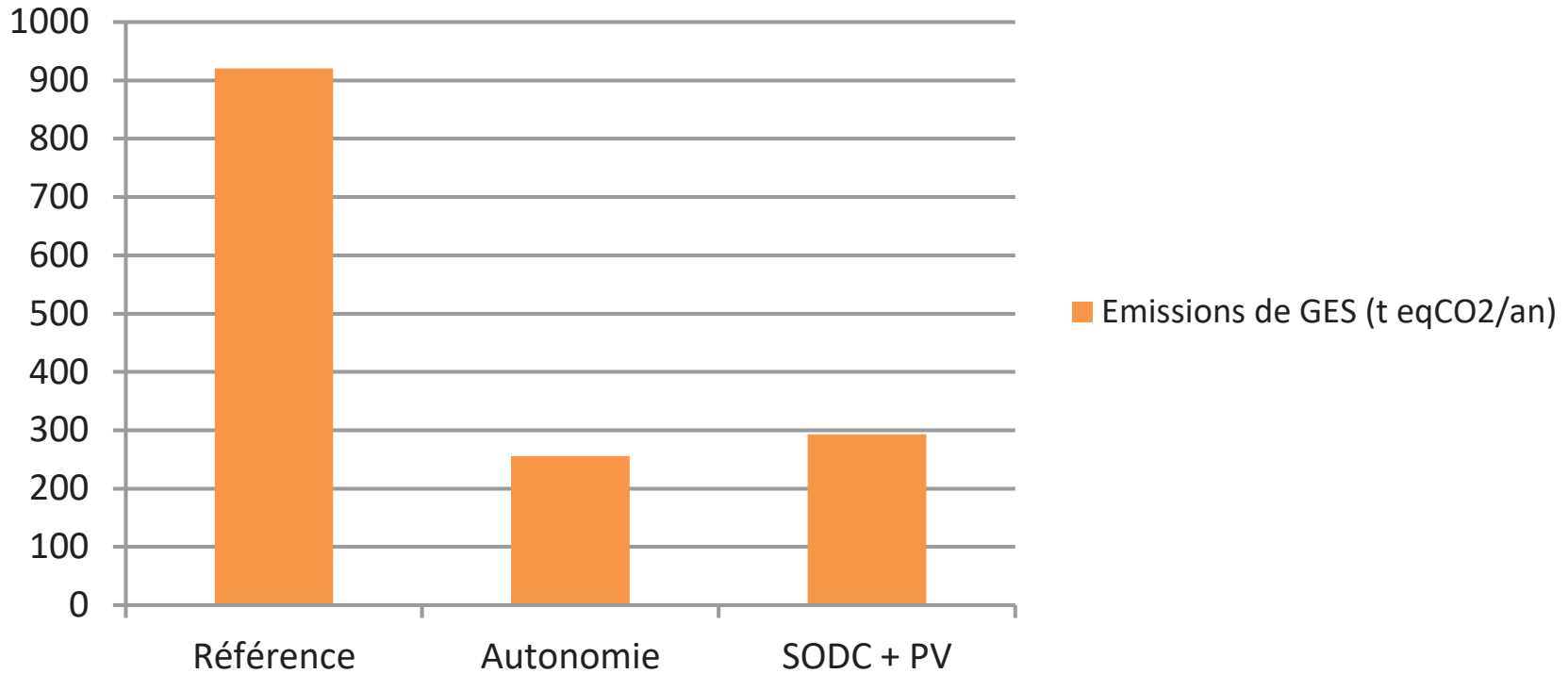


Figure 88. SYNTHESE COMPARATIVE DES EMISSIONS DE GES

Le scénario de référence est fortement émetteur de gaz à effet de serre. Le scénario le plus performant est le scénario autonomie avec la multiplication des systèmes à l'échelle des lots qui devient dès lors très complexe. On observe qu'il est possible d'atteindre cette performance environnementale plus aisément en raccordant les lots au réseau de chaleur (tout en déployant le même effort sur le vecteur électrique avec des panneaux solaires photovoltaïques).

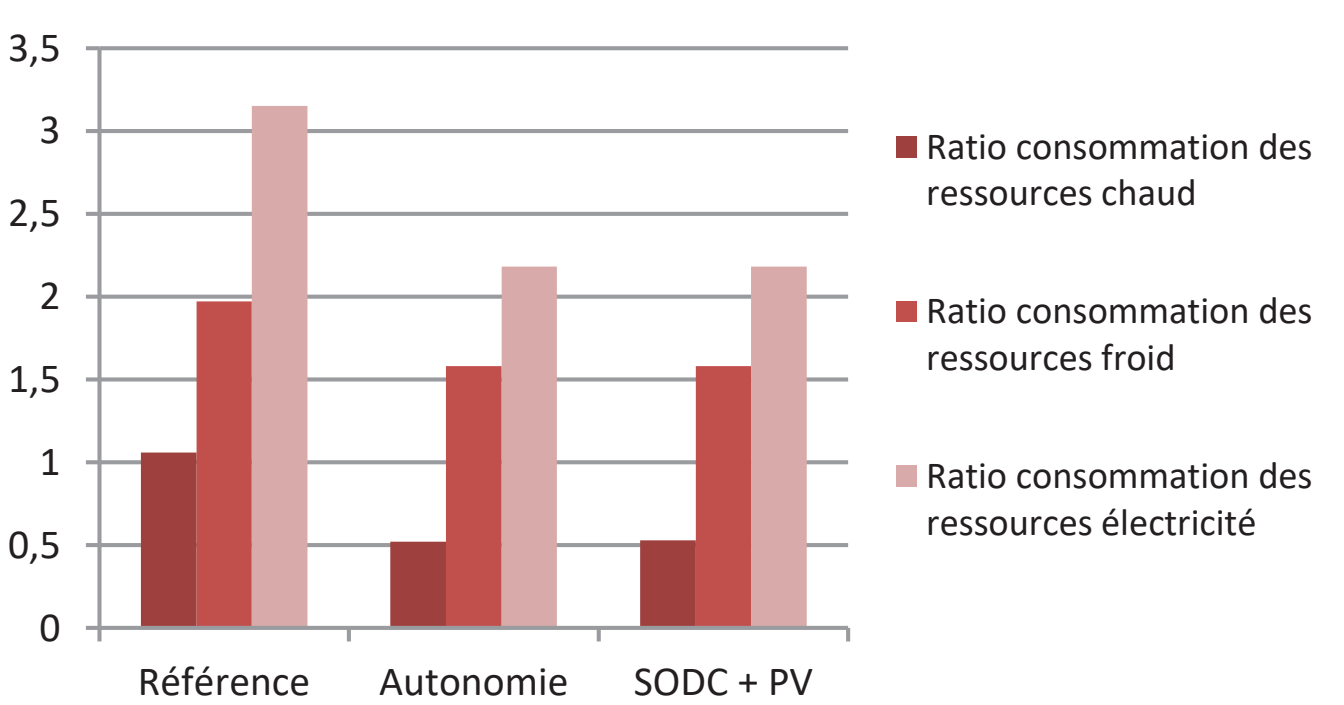


Figure 89. SYNTHESE COMPARATIVE DES RATIOS DE CONSOMMATION DES RESSOURCES

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Le scénario de référence ponctionne le plus de ressources à la planète notamment à cause de l'utilisation de l'électricité. Les scénarios EnR permettent de diviser par deux le ratio pour la production de chaleur, ce qui démontre une haute performance environnementale. L'utilisation des PAC air/eau glacée pour le froid, bien que coûteuses, réduit l'impact environnemental de l'usage de l'électricité, tout comme le déploiement des technologies solaires photovoltaïques.

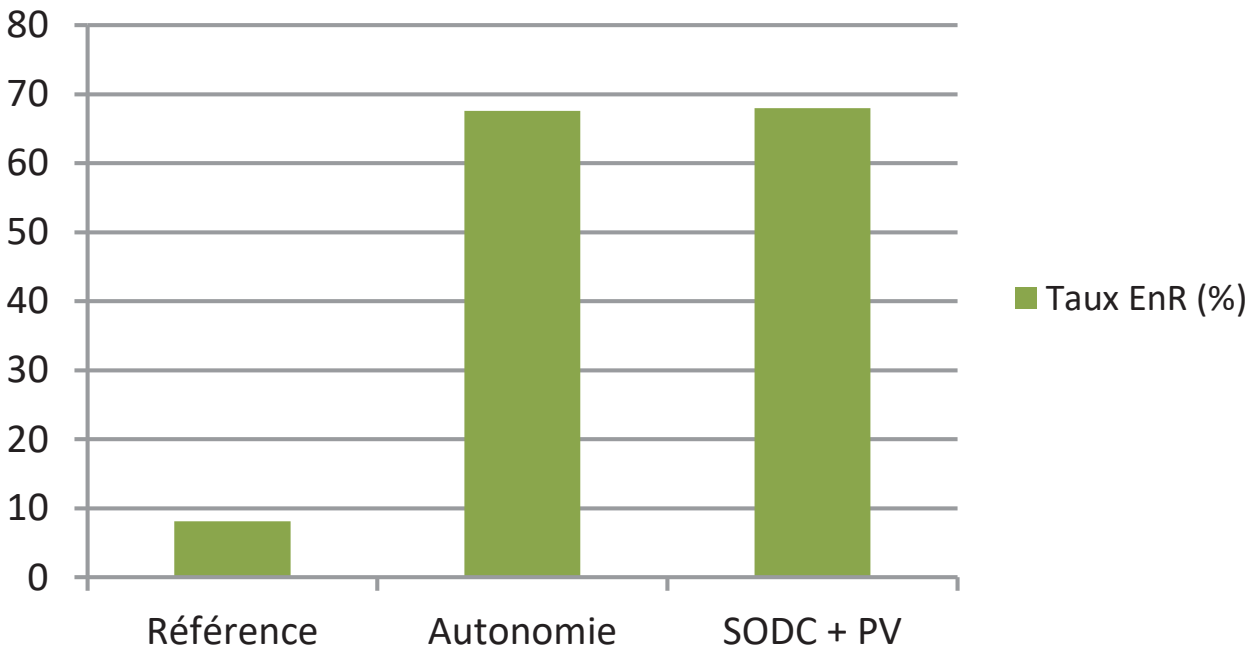


Figure 90. SYNTHESE COMPARATIVE DES TAUX ENR

Le taux EnR du scénario de référence est logiquement le plus faible : il ne profite en effet que du mix renouvelable électrique du réseau national. Tout comme les émissions de GES, cette comparaison démontre que le déploiement du réseau de chaleur permettrait d'atteindre le même taux EnR que la multitude de technologie à l'échelle individuelle qui multiplie les contraintes. Le taux EnR global des scénarios EnR atteint presque 70%.

5.2. Bilan économique

En parallèle du bilan environnemental, le bilan économique et financier global des différents scénarios peut être synthétisé avec plusieurs indicateurs tels que :

- l'investissement restant après subvention,
- le coût moyen complet de l'énergie sur 30 ans,
- et le temps de retour sur investissement en comparaison au scénario de référence.

Scénarios	Vecteur énergétique	Investissement non subventionné (€ TTC)	Coût moyen de l'énergie sur 30 ans (€ TTC/MWh)	Temps de retour sur Investissement en comparaison au Scénario de référence
Scénario référence	Chaleur	595 496	165	-
	Froid	70 982	422	
	Electricité	0	392	
Scénario Autonomie	Chaleur	3 721 261	140	30 ans
	Froid	131 586	641	> 30 ans
	Electricité	978 938	297	9 ans
Scénario SODC + PV	Chaleur	3 340 920	110	> 30 ans
	Froid	131 586	641	> 30 ans
	Electricité	668 390	295	7 ans

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

5.3. Conclusion

Plusieurs contraintes impactent fortement le déploiement des énergies renouvelables à grande échelle :
- La faible densité des besoins énergétiques,
- La part de maisons individuelles,
- La sectorisation des programmes,

Tous ces éléments compliquent la mise en œuvre d'une stratégie globale pour les énergies renouvelables pour le projet. Cet aménagement urbain doit être questionné afin de profiter de l'opportunité rare de la présence d'un réseau de chaleur sur son périmètre. Néanmoins dans le cas où le raccordement est impossible, chaque bâtiment peut avoir recours aux énergies renouvelables aussi bien pour couvrir ses besoins de chaleur que ses besoins électriques.

Par ailleurs, dans ce cadre où il est difficile de préfigurer une stratégie globale, 2 points sont essentiels à prendre en compte dans les aménagements futurs :

- Limiter les besoins énergétiques de chaque bâtiment : cette énergie évitée est une économie pérenne dans le temps.

- Anticiper l'éventuel déploiement d'un réseau de chaleur à terme : favoriser les équipements collectifs pour la production de chaleur pour les logements collectifs (il est quasiment impossible de raccorder un bâtiment de logements collectifs ayant des systèmes de chauffage et d'ECS individualisés).

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

6. TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1. Récapitulatif des objectifs de la loi ltecv (Source : Connaissancedesénergies.org) 3
Figure 2. Contexte territorial (Vizea) 4
Figure 3. Contexte local à prendre en compte 5
Figure 4. Enjeux et leviers pour l'habitat (source : diagnostic pcaet) 8
Figure 5. Programmation étudiée dans l'étude (Source : MO + CoBé) 9
Figure 6. Scénarios de performance énergétique 10
Figure 7. Bilan énergétique selon les scénarios de performance 10
Figure 8. Comparaison des scénarios de performance énergétique 11
Figure 9. Illustration des principaux composants d'un réseau de chaleur 12
Figure 10. Tracé hypothétique d'un réseau de chaleur sur les groues 13
Figure 11. Calcul de la densité énergétique 13
Figure 12. Ressources et chaufferie du réseau de chaleur SODC (Vizea d'après SODC) 14
Figure 13. Carte du réseau de chaleur SODC (Vizea) 14
Figure 14. Ressources géothermales et types de géothermie (Vizea d'après Sema-Diren Centre) 16
Figure 15. Servitude de protection du captage des eaux 16
Figure 16. Potentiel des aquifères profonds 17
Figure 17. Coupe schématique d'un forage sur chaque aquifère (Source : Géothermie-Perspectives) 17
Figure 18. Potentiel du meilleur aquifère (Source : Géothermie-Perspectives) 18
Figure 19. Ressource géothermique par nappe (Source : Géothermie-Perspectives) 18
Figure 20. Sondages Géologiques proche du périmètre d'étude (Source : Infoterre) 18
Figure 21. Log géologique des sondages A et B (Source : Infoterre 19
Figure 22. Schéma de principe des sondes géothermiques 20
Figure 23. Schéma de principe de la technologie biofluides ers 22
Figure 24. Solutions techniques pour récupérer la chaleur des eaux usées 23
Figure 25. Principe de la récupération de chaleur sur un collecteur avec échangeur intégré 23
Figure 26. Ajout de l'échangeur dans les canalisations existantes et échangeurs intégrés dans le neuf .. 24
Figure 27. Principe de la récupération de chaleur sur un collecteur avec échangeur déporté (Source : Veolia) 24
Figure 28. Principe de la récupération de chaleur en sortie de step 24
Figure 29. Réseau d'eaux usées (Source : PLU Orléans) 25
Figure 30. Emplacement des stations d'épurations (Source : Orléans métropole) 25
Figure 31. Schéma du fonctionnement de la chaudière numérique (Source : Vizea) 26
Figure 32. Principes et usages de la récupération de chaleur fatale (Source : ADEME) 27
Figure 33. Bilan des gisements HT et BT potentiellement valorisables par les industries du territoire 27
Figure 34. Exemple de récupération de chaleur sur groupe froid (Source : Ridel Energy) 28
Figure 35. Massifs forestiers en région centre 29
Figure 36. Courbe d'appel de puissance avec le principe de la bi-énergie 30
Figure 37. Principaux organes d'une chaufferie bois 30
Figure 38. Possibilités d'implantation pour les chaudières moyennes et grandes puissances 31
Figure 39. Caractéristiques du soufflage de granulés 31
Figure 40. Dégagements obligatoires autour d'une chaudière bois 32
Figure 41. Chaudière bois individuelle de Vizea 33
Figure 42. Process de méthanisation - (Source : Ministère du développement durable) 34
Figure 43. Potentiel méthanogène des différents substrats 35
Figure 44. Potentiel brut par méthanisation à l'échelle du quartier 35
Figure 45. Carte de l'ensoleillement annuel (meteo-express) 36
Figure 46. distance de séparation des rangées de panneaux solaires 36
Figure 47. Composants classiques d'une installation solaire pv 37

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable

Figure 48. Pourcentage de production par rapport à l'optimum en fonction de l'orientation et de l'inclinaison 38
Figure 49. Principe de fonctionnement du solaire thermique pour produire de l'ecs 39
Figure 50. Relation entre la fraction solaire et le taux d'utilisation de l'installation et couverture des besoins 39
Figure 51. Schéma de principe du solaire hybride 40
Figure 52. Zone favorable au développement de l'énergie éolienne (Source : SRE) 41
Figure 53. Caractéristiques principales d'un barrage hydroélectrique 42
Figure 54. Localisation des sites propices à l'hydroélectricité (Source : ROE – Office national de l'eau) .. 42
Figure 55. Hypothèses économiques 47
Figure 56. Hypothèses environnementales 47
Figure 57. Bilan énergétique final retenu pour l'étude 47
Figure 58. Description du scénario de référence 50
Figure 59. Bilan économique du scénario de référence 50
Figure 60. Bilan environnemental du scénario de référence 51
Figure 61. Description du scénario autonomie 52
Figure 62. Construction de la maquette 3D du quartier (Vizea) 53
Figure 63. Analyse des masques solaires du quartier 53
Figure 64. Analyse du gisement solaire sur le quartier 54
Figure 65. Morphologie urbaine d'un bâtiment 54
Figure 66. Principe d'exclusion des toitures intermédiaires 54
Figure 67. Implantation des panneaux hybrides sur les maisons individuelles 55
Figure 68. Production électrique des panneaux hybrides en fonction de la consommation des maisons individuelles 55
Figure 69. Résultats d'autoconsommation et d'autoproduction pour la production électrique des panneaux hybrides 56
Figure 70. Rentabilité économique sur la production électrique des maisons selon la configuration 56
Figure 71. Implantation des panneaux PV 57
Figure 72. Production électrique des panneaux PV en fonction de la consommation 57
Figure 73. Résultats d'autoconsommation et d'autoproduction des panneaux pv 58
Figure 74. Calcul du gain total lié à la revente du surplus 58
Figure 75. Prime à l'investissement pour l'autoconsommation avec revente du surplus 58
Figure 76. Bilan économique du scénario autonomie 59
Figure 77. Van pour le vecteur chaleur 59
Figure 78. Van pour le vecteur froid et électricité 59
Figure 79. Bilan environnemental du scénario autonomie 60
Figure 80. Description du scénario réseau de chaleur + pv 61
Figure 81. Tracé linéaire du raccordement au réseau de chaleur sodc 61
Figure 82. Mix énergétique du réseau de chaleur sodc 62
Figure 83. Bilan économique du scénario réseau de chaleur + pv 62
Figure 84. Van pour le vecteur chaleur 63
Figure 85. Van pour le vecteur froid 63
Figure 86. Van pour le vecteur électricité 63
Figure 87. Bilan environnemental du scénario réseau de chaleur + pv 64
Figure 88. Synthèse comparative des émissions de ges 65
Figure 89. Synthèse comparative des ratios de consommation des ressources 65
Figure 90. Synthèse comparative des taux enr 66

Ce document est la propriété de Vizea. Il ne doit pas être reproduit, cité ou communiqué sans son accord préalable