COMMUNAUTÉ DE COMMUNES
CASTELRENAUDAIS
Un territoire en mouvement

ETUDE D'OPTIMISATION DE LA DENSITE DES CONSTRUCTIONS

Application de l'article L300-1-1 du code de l'urbanisme

PROJET D'AMENAGEMENT DE LA ZAC 2 « EXTENSION PORTE DE TOURAINE »

Annexe au dossier d'autorisation environnementale unique

Siam Conseils :)
management de projets URBains

Agence Tendrevert

THEMA environnement

suez

Table des matières

1. **Cadrage réglementaire de l'étude :** 2
2. **Choix du site d'étude, les justifications inscrits au PLUi :** 3
2.1 Justification des objectifs de modération de la consommation d'espace 3
2.2 Exposé des motifs de la délimitation des zones à urbaniser 5
3. **Optimisation de la densité des constructions sur le site d'étude** : 8
3.1 Les prescriptions réglementaires du PLUi 8
3.2 L'optimisation de l'occupation de la construction sur la parcelle 8
4. **Prise en compte de la qualité urbaine et de la préservation de la biodiversité** 10
4.1 Les prescriptions réglementaires du PLUi 10
4.2 Les principes d'aménagements urbains et paysagers du projet de construction 11

1. Cadrage réglementaire de l'étude :

Le présent rapport a pour objet l'étude d'optimisation de la densité des constructions régie par l'article L300-1-1 du code de l'urbanisme qui précise :

« Toute action ou opération d'aménagement soumise à évaluation environnementale en application de l'article L. 122-1 du code de l'environnement doit faire l'objet :

1° 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 ;

2° D'une étude d'optimisation de la densité des constructions dans la zone concernée, en tenant compte de la qualité urbaine ainsi que de la préservation et de la restauration de la biodiversité et de la nature en ville.

Un décret en Conseil d'Etat détermine les modalités de prise en compte des conclusions de ces études dans l'étude d'impact prévue à l'article L. 122-3 du même code. »

>> Dans le cadre du projet d'aménagement de l'extension de la ZAC 2 Extension Porte de Touraine, l'opération d'aménagement est soumise à évaluation environnementale. Par conséquent, et conformément de l'alinéa 2 de l'article L.300-1-1 du code de l'urbanisme, l'évaluation environnementale comportera l'étude d'optimisation de la densité des constructions dans la ZAC 2 Extension Porte de Touraine ci-présente.

2. Choix du site d'étude, les justifications inscrits au PLUi :

Dans le cadre de l'élaboration du PLUi du Castelrenaudais, approuvé le 16 février 2021, le rapport de présentation n°1 retranscrit :

- En partie 2 : la justification des objectifs de modération de la consommation d'espace et de lutte contre l'étalement urbain,
- En partie 4 : l'exposé des motifs de la délimitation des zones et des règles qui y sont applicables.

Cette analyse permet d'établir les besoins pour le développement économique du territoire et les motifs qui ont été retenus pour identifier le secteur Porte de Touraine à Autrèche comme un site privilégié pour l'extension de la zone d'activités.

2.1 Justification des objectifs de modération de la consommation d'espace

Dans un premier temps, le rapport de présentation du PLUi du Castelrenaudais précise les enjeux de la modération de la consommation foncière :

Les évolutions du XXe siècle ont impulsé le développement d'un urbanisme dont les conséquences néfastes sont aujourd'hui reconnues. Les facteurs de l'étalement urbain sont de deux ordres : conjoncturels et financiers. D'une part, l'hégémonie de la voiture et la préférence accrue pour l'habitat individuel ont conduit au développement d'un étalement urbain massif et au mitage. D'autre part, la tension foncière constatée en milieu urbain avec une raréfaction des terrains disponibles a entrainé une hausse importante des prix et un report de la demande en périphérie où le foncier est disponible à moindre coût.

Maîtriser la consommation foncière et lutter contre l'artificialisation des sols est aujourd'hui une priorité.

La mise en place d'une stratégie d'orientation et d'optimisation du foncier répond à plusieurs enjeux d'un aménagement durable du territoire :

- Eviter la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers : la réduction de ces espaces est une menace pour l'environnement qui conduit notamment à une diminution de la biodiversité, favorise le ruissellement des eaux et altère les ressources et les paysages ;
- Lutter contre le réchauffement climatique qui est accentué par l'étalement urbain et les déplacements qu'il génère ;
- Favoriser la mixité sociale et fonctionnelle des quartiers en impulsant le développement en un même lieu de plusieurs activités ;
- Réduire les coûts d'aménagement : l'allongement des réseaux (eaux, électricité, communication) et le développement des infrastructures de transport représentent une augmentation des coûts de moins en moins supportable pour les collectivités ;
- Lutter contre la spéculation foncière et la hausse des prix qui en découlent par une politique publique foncière volontariste ».

Ensuite, le rapport de présentation du PLUi précise l'analyse des besoins en extension des enveloppes urbaines au regard des besoins économiques :

« Les besoins en foncier pour le développement de l'activité économique, délimités dans le cadre du PLUi, s'appuient à la fois :

- sur les possibilités en développement données par le SCoT sur les zones d'activités désignées et traduites localement dans le PADD du PLUi ;
- sur le tarissement des surfaces disponibles à la vente dans les zones d'activités appartenant à la Communauté de Communes, et notamment les plus attractives ;
- sur le regain d'attractivité du territoire constaté depuis le début de l'année 2018 ;
- sur les éventuels besoins à venir pour le développement de l'activité touristique.

Ainsi, le PLUi prévoit des surfaces en extension des enveloppes urbaines (surfaces déjà viabilisées construites ou en cours de commercialisation) des zones :

- Parc Porte de Touraine à Autrèche : 24 ha de zone 1AUyz (reprenant la totalité de la surface de la ZAC approuvée) et 20,4 ha de zone 2AUyz ;
- Parc industriel Nord de l'agglomération de Château-Renault : 6,3 ha de zone 2AUy sur la partie Nord de la RD 910 ;
- Parc des Pressaudières à Saint-Laurent-en-Gâtines : 9,1 ha de zone 2AUy ;
- Parc de l'Imbauderie à Crotelles : 2,8 ha de zone 1AUy.

En conclusion, la Communauté de Communes peut affirmer que le PLUi s'inscrit dans les objectifs définis au PADD et donc dans le respect de la compatibilité avec le SCoT avec un total de 62,7 ha en extension prévus pour le développement des principales zones d'activités intercommunales.

Enfin, le rapport de présentation du PLUi conclut sur la justification des objectifs de limitation de la consommation foncière :

« Le diagnostic a montré que la satisfaction des besoins en développement des 16 communes de la Communauté de Communes sur les années passées s'était traduite par une extension des enveloppes urbaines de 31 ha dédiés à l'habitat et aux équipements, et 17 ha dédiés à l'activité économique, soit un total de 48 ha consommés sur la période 2007-2017 et une consommation annuelle moyenne de 4,8 ha.

Depuis la loi ALUR, le PADD doit fixer un objectif chiffré de modération de la consommation d'espace, en lien avec l'analyse de la consommation passée. Or, l'analyse de la consommation d'espace sur la période 2007-2017 (cf : 01G_diagnostic morphologie urbaine) a permis de faire le constat qu'une phase importante de viabilisation (lotissements, zones d'activités, etc.) avait eu lieu sur les deux années précédant cette analyse (2005-2007), expliquant cette faible consommation foncière de 4,8 ha par an.

Toutefois, le diagnostic de territoire a également mis en évidence que malgré le ralentissement de la construction à partir de la crise de 2008, ces espaces viabilisés ont été pour la plupart construits et que certaines communes (exemple de Villedômer) et la Communauté de Communes à travers ses zones d'activités (exemples de la zone industrielle Nord de Château- Renault ou du Parc Porte de Touraine à Autrèche) ont vu leurs possibilités en constructions se tarir. Pourtant, le territoire a pris du retard sur la demande, notamment les communes Pôles pour l'habitat et les équipements et la Communauté de

Communes sur ses principales zones d'activités. Par exemple, les phases de concertation avant l'arrêt du projet du PLUi ont permis de révéler au grand public que la Communauté de Communes envisageait l'extension de la zone industrielle Nord de Château-Renault. Aussitôt, des entrepreneurs se sont positionnés pour s'y installer.

Pour toutes ces raisons, mais également pour répondre aux objectifs en développement affichés au PADD (rééquilibrage emplois-actifs, mise en avant des pôles, autonomisation par rapport à l'agglomération tourangelle, etc.) eux même repris du SCoT, la Communauté de Communes a fait le choix d'une consommation foncière plus importante que sur la période passée (2007-2017). Elle limite, dans son PADD, la consommation foncière à un maximum de 105 ha (**75 ha dédiés à l'activité économique dont touristique** et 30 ha dédiés à l'habitat et aux équipements). Le PADD étant calibré pour la période 2020-2030, cela représente une consommation foncière moyenne annuelle de 10,5 ha.

Pour rappel, **le SCoT fixe pour le territoire de la Communauté de Communes sur la période 2018-2030, un maximum de 75 ha en consommation foncière pour l'activité économique** et 44 ha pour l'habitat et les équipements. Le PLUi est donc plus vertueux que les dispositions du SCoT en matière de de consommation foncière pour le développement de l'habitat.

> **>> Le choix du site pour l'aménagement de l'extension de la zone d'activités Porte de Touraine s'inscrit pleinement dans la justification du territoire à vouloir proposer une offre économique ciblée et sur une emprise foncière maîtrisée. Sur les 75 ha de consommation foncière identifiées pour le développement économique, l'extension du parc d'activités Porte de Touraine représente 20 ha, soit 26 % de la superficie**.

2.2 Exposé des motifs de la délimitation des zones à urbaniser

En partie 4, le rapport de présentation du PLUi expose les motifs de la délimitation des zones et des règles qui y sont applicables. L'opération d'aménagement pour l'extension de la zone d'activités Porte de Touraine est situé sur une zone 2AUyz.

« Les zones 2AU sont des zones à urbaniser dont les voies ouvertes au public et les réseaux d'eau, d'électricité et, le cas échéant, d'assainissement existant à sa périphérie immédiate n'ont pas une capacité suffisante pour desservir les constructions à implanter dans l'ensemble de la zone.

L'ouverture à l'urbanisation de cette zone est subordonnée à la mise à niveau des réseaux à la périphérie du site et à une évolution du plan local d'urbanisme intercommunale par le biais d'une procédure de modification. […] Le secteur 2AUy est à destination dominante d'activités économiques, il a été créé sur les sites d'extensions à long terme de certaines zones d'activités intercommunales. Le sous-secteur 2AUyz a été créé sur le périmètre d'extension à long terme du parc d'activités Porte de Touraine à Autrèche.

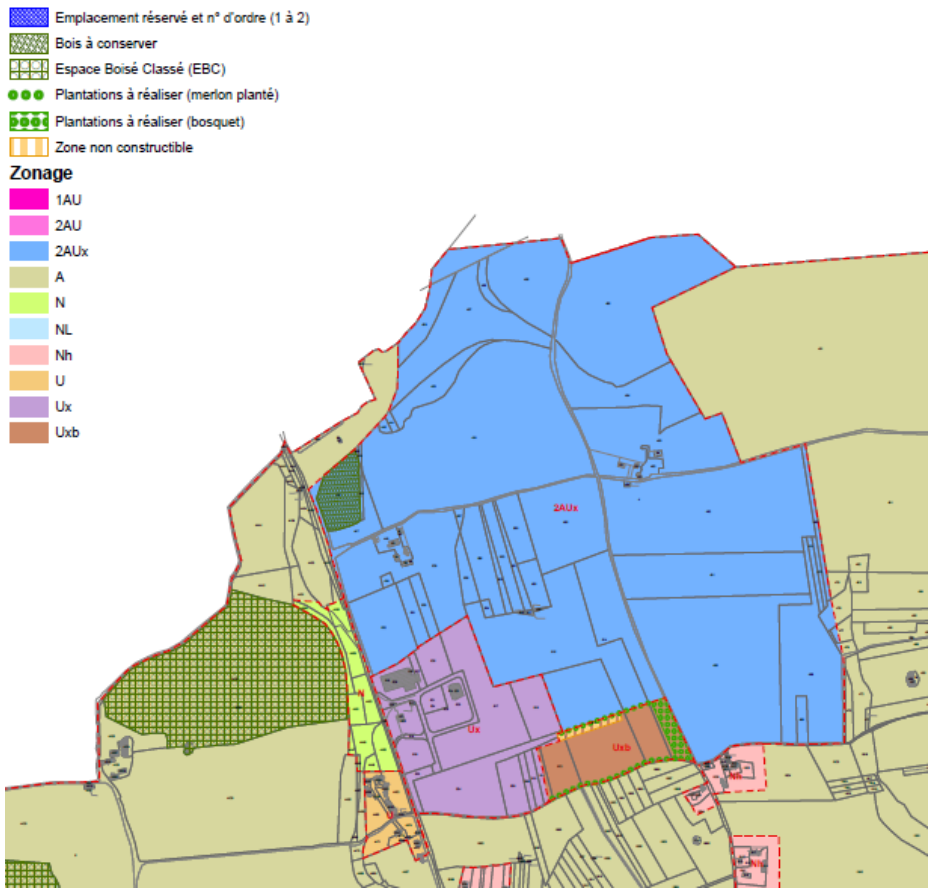
- Les secteurs 2AUy ont été délimités pour l'extension du Parc Industriel Nord de l'agglomération de Château-Renault et le développement de la zone d'activités des Pressaudières à Saint- Laurent-en-Gâtines (et notamment pour le déplacement de la scierie présente dans le centre-bourg), nécessaire au développement de l'activité économique sur le territoire.

- Le sous-secteur 2AUyz a été délimité pour l'extension du Parc Porte de Touraine à Autrèche, nécessaire au développement de l'activité économique. Un sous-secteur est envisagé sur le site pour anticiper son éventuel développement sous la forme d'une procédure de ZAC, à l'image de la zone 1AUyz.

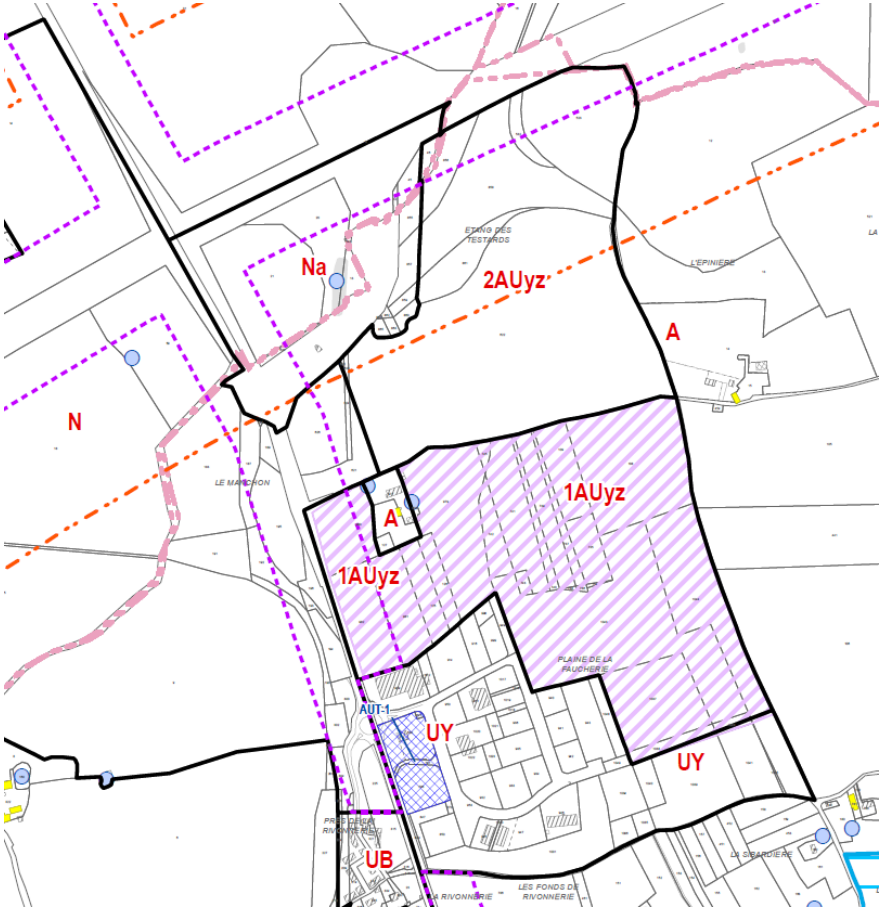
  >> Il est également rappelé qu'une évolution significative a été engagée entre la délimitation du zonage dans le PLUi et ce qui était inscrit au PLU de la commune d'Autrèche. En effet, la commune avait identifié près de 90 ha de zone 2AUx à destination du développement économique.

  >> Dans un souci d'optimisation foncière et de réduction de la consommation des terres agricoles, cette emprise a été considérablement réduite au profit d'une urbanisation cohérente au contact du parc de la Rivonnerie et maîtrisé en appliquant un secteur 1AUyz pour le développement à court terme et une zone 2AUyz pour anticiper le développer à long terme.

  >> Cette réduction a permis de restituer prés de 42 ha en zone agricole et le boisement situé à l'ouest en lisière de la RD 31 a été restitué en zone naturelle.



Extrait du plan de zonage du PLU d'Autrèche de 2014. Délimitation de la zone 2AUx à vocation économique sur le site Porte de Touraine.



Extrait du plan de zonage du PLUI du Castelrenaudais. Délimitation de la zone 1UAyz objet d'une première ZAC approuvé en 2019, et d'une zone 2AUyz, objet d'une seconde ZAC portant sur l'extension du parc d'activités.

3. Optimisation de la densité des constructions sur le site d'étude :

3.1 Les prescriptions réglementaires du PLUi

Le projet d'extension est situé à ce jour en zone 2AUyz, il a vocation à évoluer dans le cadre d'une procédure de Déclaration de Projet valant mise en compatibilité du PLUi. Le site évoluerait ainsi en zone 1AUyz avec une reprise du règlement existant en grande partie sans modification.

Concernant l'implantation des constructions, il n'est pas fixé de superficie minimale d'occupation des constructions, ni de pourcentage afférent à l'emprise au sol maximale des constructions.

Concernant le retrait des constructions par rapport à l'emprise publique, les règles permettent une implantation à l'alignement ou avec un retrait minimum de 5 m.

Concernant le taux d'espaces libres à maintenir en espace perméable, la procédure de mise en compatibilité du PLUi permettra de réduite légèrement le taux passant de 30 % d'espaces libres non imperméabilisés et 25%.

> **>> Ainsi, les prescriptions règlementaires du PLUi pour la construction permettent une souplesse de l'implantation sur la parcelle et une constructibilité optimale des emprises foncières mises à disposition. La réduction des espaces libres permet d'optimiser d'avantage l'occupation de la parcelle tout en maintenant une surface pertinente pour l'aménagement d'espaces paysagers et de pleine terre.**
>
> >> **Les règles d'implantation du bâti permettent de faciliter la mise en place d'usages et fonctions mutualisées entre plusieurs parcelles (accès, stationnement, locaux technique…).**

3.2 L'optimisation de l'occupation de la construction sur la parcelle

L'optimisation foncière se traduit par la nécessité d'occuper « mieux » la parcelle, c'est-à-dire « une surface = une fonction », et de manière plus compacte. L'objectif de l'opération d'aménagement de la ZAC est de permettre à des grands-comptes et des activités industrielles de s'installer dans de bonnes conditions d'implantation tout en limitant l'emprise foncière au strict besoin de l'activité. Pour cela, Les principes d'aménagement de la zone sont définis telles que :

- **Limiter la surface disponible par entreprise**. La collectivité incite les porteurs de projet à acquérir une surface de parcelle qui soit le plus justement dimensionné à leurs activités. Par conséquent, elle limite l'acquisition de surfaces supplémentaires trop importantes servant généralement aux entreprises à se constituer des réserves foncières, parfois sur-dimensionnées et *in fine* non exploitées.
- **Accompagner les entreprises dans le choix d'implantation des bâtiments et infrastructures**. L'objectif est d'utiliser le maximum d'espace sur la parcelle et éviter des délaissés inutilisés. Chaque emprise au sol doit trouver une fonction pour l'emprise bâtie, les emplacements de stationnement,

les zones techniques, etc. Ce principe de **« compacité » de l'aménagement** permet également d'optimiser la quantité de matériaux utilisée et les coûts de travaux.

- **Réduire le linéaire de voie de circulation et optimiser son usage** :
    - A l'échelle de l'aménagement de la zone, l'accès au projet d'extension de la zone d'activités s'effectue par la voie de desserte principale existante. Le linéaire de voie déployée sera limité à l'accès aux parcelles commercialisées. La voie de circulation doit permettre de desservir de part et d'autre de la chaussée des parcelles, et a minima un seul côté de chaussée. Ne sera pas autorisé, un linéaire de voirie ne desservant aucune parcelle.
    - A l'échelle de l'installation d'une entreprise sur sa parcelle, il est préconisé de réduire le retrait des constructions à l'espace publique à 5 m ou en limite parcellaire comme prescrit par la réglementation du PLUi. Néanmoins, si le recul doit être plus important, l'entreprise devra aménager la voie d'accès de manière à desservir le plus de fonctions possibles : zone de stationnement, quai de chargement, garage, entrepôt etc… Par exemple, les voiries contournant l'ensemble du bâti sans aucune utilité de desserte seront proscrites. De la même manière, il est privilégié des espaces de retournement gérés directement sur les emprises dédiées au stationnement et non par la création de plateforme de voie en impasse.

En conclusion, le projet d'aménagement vise à optimiser le découpage parcellaire et limiter l'emprise des voies de circulation et des espaces publics. L'installation des activités économiques devront occuper l'ensemble de la parcelle et limiter au maximum les espaces de délaissé et les réserves foncières.

4. Prise en compte de la qualité urbaine et de la préservation de la biodiversité

4.1 Les prescriptions réglementaires du PLUi

Le projet d'extension est situé à ce jour en zone 2AUyz, il a vocation à évoluer dans le cadre d'une procédure de Déclaration de Projet valant mise en compatibilité du PLUi. Le site évoluerait ainsi en zone 1AUyz avec une reprise du règlement existant en grande partie sans modification.

Concernant le traitement des espaces libres et des plantations, le règlement de la zone 1AUy comprenant le sous-secteur 1AUyz prescrit :

« Afin de limiter le développement d'îlots de chaleur urbain :

- les espaces libres de toute construction à l'intérieur d'une parcelle constructible doivent être traités et aménagés en favorisant un traitement par le végétal ;
- les aires de stationnement groupé de plus de 10 véhicules doivent faire l'objet d'un traitement paysager adapté (ex. : plantation d'arbres, de haies …).

Pour les nouvelles plantations (haie, bosquet, arbre isolé...), les essences végétales indigènes sont à privilégier. Les arbres plantés seront des arbres d'ornement présentant un développement modéré pour une hauteur maximale adulte de 8m.

Pour préserver le paysage, sont interdites les haies monospécifiques (thuyas, if, troène, etc.) ;

Pour préserver la biodiversité, sont interdites les essences dites « invasives » (cf. Annexe 2 : Liste des espèces invasives ne devant pas être plantées). Les plantations de haies existantes en limite parcellaire ainsi que celles déjà plantées doivent être maintenues. Sur les parcelles qui reçoivent une construction, les espaces qui ne sont pas construits ou qui ne sont pas réservés à la circulation ou au stationnement des véhicules ne devront pas être imperméabilisés et devront être végétalisés.

Dans le cadre de la procédure de mise en compatibilité du PLUi, le taux d'espaces non imperméabilisés devra représenter au minimum 25 % de la superficie de la parcelle ».

>> Les prescriptions réglementaires permettent de cadrer l'intégration paysagère des projets au sein de parcelle. Les règles guident sans contraindre, les aménagements nécessaires pour préserver la qualité urbaine des projets et la préservation de la biodiversité.

4.2 Les principes d'aménagements urbains et paysagers du projet de construction

Les objectifs poursuivis de l'aménagement de la zone d'extension Porte de Touraine :

- **Assurer l'accueil d'entreprises d'envergure et permettre de répondre à leurs besoins en infrastructure**, aux flux de déplacement et à la capacité foncière disponible ;
- Pr**omouvoir les déplacements partagés et l'usage des transports collectifs** notamment l'utilisation des transports en commun régionaux et le développement du covoiturage et de l'auto-partage a minima pour les usagers du site.
- **Aménager une trame paysagère qualitative**, afin de garantir la bonne intégration de la future zone à son territoire, d'un point de vue fonctionnel, urbain et paysager, et d'assurer une transition respectueuse avec la zone d'activités existante et avec les terres agricoles voisines ;
- **Participer à la transition énergétique du territoire**, en favorisant l'implantation des entreprises utilisatrices d'énergies renouvelables ou alternatives

Les aménagements paysagers et la végétation utilisée pour le projet sont tels que :

> À l'Est, l'extension de la zone d'activités s'appuie sur une frange de protection bocagère continue entre 6 m et 8 m de large. Cette dernière est exclusivement plantée d'essences bocagères locales dans la continuité des bandes fruitières et bocagères de la frange Est de la ZAC 1.

Le chemin de randonnée CR2 sera conservé afin de permettre les promenades et les déplacements doux depuis et vers le centre-bourg d'Autrèche, ainsi que l'entretien des plantations.

Un fossé enherbé sera créé afin de collecter les eaux de ruissellement du bassin versant amont. Positionné en limite de parcelle, sur l'espace public, ce fossé permet d'éviter l'écoulement des eaux de ruissellement sur la parcelle d'activité.

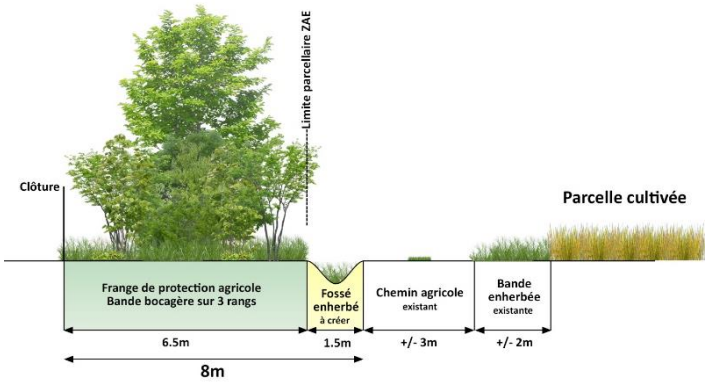


Illustration : coupe de principe de l'aménagement paysager de la frange Est. Source Tendrevert

> La frange Nord, quant à elle, fera l'objet d'un traitement paysager spécifique s'appuyant sur le prolongement de haie de la frange Est doublée d'une bande boisée plus ou moins dense. L'objectif étant à terme de créer un véritable « écran » boisé à l'échelle du paysage agricole limitrophe.

Source : TendreVert

> A l'Ouest, le traitement des limites assure la continuité de l'ourlet bocager sous la forme d'une haie ou/et d'une saulaie aux abords des futurs ouvrages de gestion des eaux pluviales ainsi qu'en limite avec l'échangeur de l'A10 et du boisement existant.

Haie bocagère - *Source : Tendre Vert*

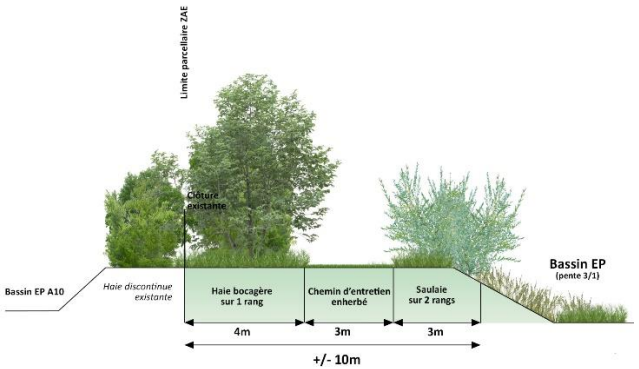
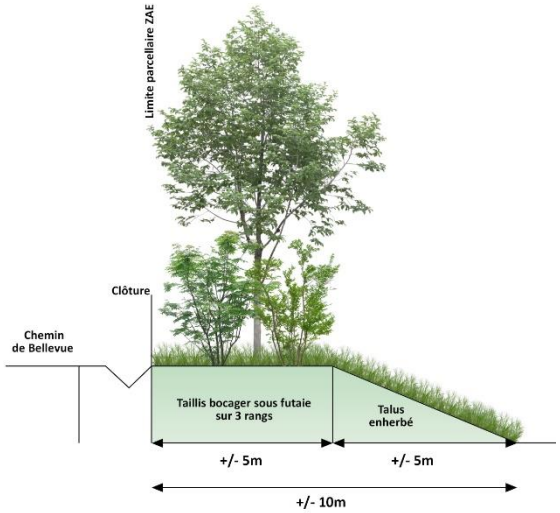


Illustration de saulaie - Source : TendreVert

> Au Sud le chemin de Bellevue est bordé d'un taillis bocager sous futaie faisant écho à la bande fruitière et bocagère de la limite Nord de la ZAC 1.

Taillis bocager sous futaie - *Source : TendreVert*



Taillis bocager sous futaie - *Source : TendreVert*

> L'extrémité Sud-Est du projet sera plantée d'un bosquet, composés de jeunes baliveaux forestiers. A terme, ce bosquet formera un cadre végétal permettant d'atténuer la perception de l'opération et de protéger les habitations voisines des éventuelles nuisances visuelles.

Bosquet - *Source : TendreVert*

L'insertion du projet d'extension de la ZAC Porte de Touraine dans l'environnement urbain, passe avant tout par la nature des aménagements qui sont prévus pour garantir son intégration paysagère.

C'est pourquoi l'accent a été mis sur la qualité de traitement des franges et pourtours de l'opération : bandes de protection, bosquets et haies bocagères, participeront à la qualification du secteur et l'intégration de la zone dans son environnement. Ces différents aménagements paysagers permettront d'assurer

une transition pacifiée entre la zone d'activités et la plaine agricole, une protection visuelle vis-à-vis des habitations éparses voisines mais également assurer une continuité écologique avec les aménagements paysagers de la première ZAC et les milieux naturels préservés tels que le bois à l'est du site, la mare et le verger de la ferme voisine.

Du point de vue de son environnement naturel, le projet a été retenu dans la mesure où il n'engendre pas d'impacts majeurs. L'emprise du projet présente globalement un enjeu faible pour l'avifaune et très faible pour la flore et les autres groupes faunistiques. Au regard des milieux présents autour du site, les espèces fréquentant actuellement l'emprise du projet, peuvent se reporter sur des milieux similaires, sans que l'état de conservation des populations locales ne soit remis en cause.

La **haie bocagère plantée sur 3 rangs en frange Est du site permet de conserver un habitat favorable** à la Fauvette Grissette et maintenir une communication sans entrave entre la haie et les plaines agricoles pour le Bruant Proyer (absence de clôture). Le boisement situé à l'Est de la zone constitue un habitat terrestre privilégié pour les amphibiens. Situé hors périmètre, ce boisement n'est pas impacté par le projet de ZAC. De même, les bâtiments de la ferme, qui constituent des habitats potentiels pour les chiroptères, sont conservés et ne sont pas impactés par le projet. A contrario, **la mise en œuvre de la trame paysagère généreuse prévue par le projet permettra le maintien et le développement de cette biodiversité locale et variée.**

Les espaces libres situés entre le bâtiment et les franges bocagères seront enherbées avec mise en place d'une **gestion différenciée** à l'échelle de l'ensemble de la parcelle. L'objectif étant de maintenir des secteurs en prairie avec **fauche tardive** (fin juillet) en lien avec la trame bocagère du site et des secteurs tondues plus régulièrement aux abords des bâtiments et des zones de stationnement.

En conclusion et au regard des prescriptions réglementaires des documents d'urbanisme ainsi que des principes d'aménagement envisagés, le projet d'aménagement de la ZAC 2 « Extension Porte de Touraine » a pour objectif :

- **D'optimiser l'occupation foncière par une densification de la parcelle constructible visant à garantir une fonction à chaque espace mobilisé (construction, voirie, ouvrages techniques…), et par une limitation des délaissés de terrain et des réserves foncières surdimensionnées.**
- **De tenir compte de la qualité urbaine ainsi que de la préservation et de la restauration de la biodiversité. Le site d'étude n'engendre pas d'impact majeur sur l'environnement. Il présente des enjeux faibles à très faibles pour l'avifaune et la flore. Les milieux naturels sont exclus du projet et sont préservés (boisement et mare en limite Est du site). Par ailleurs, le projet d'aménagement met en œuvre un traitement paysager fort des franges de l'opération permettant son insertion dans l'environnement urbain et la mise en place de corridors écologiques avec son environnement proche et lointain.**

EXTENSION DE LA ZONE D'ACTIVITES PORTE DE TOURAINE

Etude des potentiels en énergie renouvelable

Bureaux d'études ENERGIO

ENERGIO – 7, rue Dublineau – 37000 TOURS
Tel : 02.47.88.02.02 – Fax : 02.47.49.01.07 – Courriel : accueil@energio.fr
SARL au capital de 80 000 € - RCS TOURS – N° SIRET 487 673 543 00020

A. Sommaire

A. SOMMAIRE 2
B. PREAMBULE 4
B.1. OBJET DE L'ETUDE 4
B.2. CONTEXTE REGLEMENTAIRE 4
B.3. DESCRIPTION DU PROJET 4
C. SYNTHESE DE L'ETUDE 6
C.1. SYNTHESE DES POTENTIELS EN ENERGIES RENOUVELABLES 6
C.2. SYNTHESE DES SCENARIOS – SCENARIO IMPLANTATION DE 15 PME 8
C.1. SYNTHESE DES SCENARIOS – SCENARIO IMPLANTATION D'UNE ENTREPRISE DE LOGISTIQUE 9
D. DETERMINATION DES BESOINS ENERGETIQUES DE L'OPERATION 10
D.1.1. Scénario 1 : Implantation de plusieurs PME 10
D.1.2. Scénario 2 : Implantation d'une entreprise logistique 11
E. POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES DE LA ZAC 13
E.1. EOLIEN 13
E.1.1. Grand et moyen éolien 14
E.1.2. Petit éolien 15
E.1.3. Synthèse des potentiels éoliens 15
E.2. GEOTHERMIE 16
E.2.1. Technologies d'exploitation 17
E.2.2. Potentiel local 20
E.2.3. Synthèse des potentiels géothermiques 23
E.3. BOIS ENERGIE 25
E.3.1. Les appareils de combustion 25
E.3.2. Potentiel local 27
E.3.3. Livraison de bois énergie 28
E.3.4. Traitement des cendres 29
E.3.5. Traitement des fumées 29
E.3.6. Synthèse des potentiels en bois énergie 31
E.4. METHANISATION 32
E.4.1. Les déchets organiques valorisables 32
E.4.2. Description du procédé de méthanisation 32
E.4.3. Les produits de la méthanisation 33
E.4.4. Les sites de production 34
E.4.5. Potentiel 34
E.5. SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE 35
E.5.1. Analyse des ombrages 36
E.5.2. Potentiel de production 36
E.5.3. Mode de valorisation économique de la production 36
E.5.4. Stockage de l'énergie 37
E.5.5. Raccordement des installations 37
E.5.6. Synthèse du potentiel en solaire photovoltaïque 39
E.6. SOLAIRE THERMIQUE 40
E.6.1. Potentiel solaire 40
E.6.2. Synthèse du potentiel en solaire thermique 40
F. SCENARIO PME - SCENARIOS D'APPROVISIONNEMENT 41
F.1. PRESENTATION DES SCENARIOS 41
F.2. HYPOTHESES DE CALCUL 41
F.2.1. Coûts et inflation des énergies 41
F.2.2. Systèmes énergétiques 42
F.2.3. Emission de gaz à effet de serre 42

F.3. INVESTISSEMENT 43
F.4. SUBVENTIONS 43
F.5. MAINTENANCE ET GROS ENTRETIEN 43
F.5.1. Maintenance (P2) 43
F.5.2. Gros entretien (P3) 44
F.6. BILAN FINANCIER 45
F.6.1. Bilan sur 30 ans 45
F.6.2. Coût moyen sur 30 ans 47
F.7. EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE 47
F.8. AUTRES DONNEES DES SCENARIOS 48

G. SCENARIO ENTREPRISE DE LOGISTIQUE - SCENARIOS D'APPROVISIONNEMENT 49

G.1. PRESENTATION DES SCENARIOS 49
G.2. HYPOTHESES DE CALCUL 49
G.2.1. Coûts et inflation des énergies 49
G.2.2. Emission de gaz à effet de serre 50
G.3. INVESTISSEMENT 51
G.4. SUBVENTIONS 51
G.5. MAINTENANCE ET GROS ENTRETIEN 51
G.5.1. Maintenance (P2) 51
G.5.2. Gros entretien (P3) 52
G.6. BILAN FINANCIER 53
G.6.1. Bilan sur 30 ans 53
G.6.2. Coût moyen sur 30 ans 55
G.7. EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE 55
G.1. AUTRES DONNEES DES SCENARIOS 56

H. CONCLUSION 57

H.1. SCENARIO IMPLANTATION DE 15 PME 57
H.2. SCENARIO IMPLANTATION D'UNE ENTREPRISE DE LOGISTIQUE 58

I. TABLE DES ILLUSTRATIONS 59

I.1. TABLEAUX 59
I.2. FIGURES 59
I.1. EQUATIONS 59

B. Préambule

B.1. Objet de l'étude

Le présent rapport a pour objet l'étude des opportunités en énergies renouvelables et réseaux communs en cohérence avec l'article L128-4 du Code de l'Urbanisme.

Dans un premier temps, la demande en énergie du projet est évaluée pour les différents îlots et les différentes typologies du projet. L'opportunité de création d'un réseau de chaleur est alors étudiée.

Ensuite, le potentiel énergétique local est exploré afin de produire chaleur, froid et électricité pour le quartier. Les ressources énergétiques suivantes sont étudiées :

- Ressource solaire thermique et photovoltaïque ;
- Ressource éolienne ;
- Ressource géothermique ;
- Biomasse ;
- Méthanisation ;

Enfin, ce document présentera différents scénarios de desserte énergétique du projet ayant recours à des énergies renouvelables ou de récupération. L'établissement de ces scénarios s'appuie sur les ressources identifiées lors du diagnostic.

B.2. Contexte réglementaire

Depuis la parution de la loi Grenelle 1 du 03 août 2009, suivant l'article L128-4 du Code de l'Urbanisme, les opérations d'aménagement faisant l'objet d'une étude d'impact ont l'obligation de procéder à une étude de potentiel de développement des énergies renouvelables pour la zone :

« 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. »

B.3. Description du projet

Le projet d'extension de la ZAC Porte de Touraine porte sur un périmètre opérationnel d'environ 20 ha. Les études de faisabilité pour l'aménagement de la zone ont conclu à la possibilité d'accueillir une ou plusieurs entreprises à vocation industrielle et logistique.

A ce jour, la collectivité a été approché par un porteur de projet qui souhaite installer un bâtiment logistique sur l'ensemble de la zone.

C'est pourquoi, l'étude ENR simulera deux hypothèses. Une première hypothèse avec l'installation d'une majorité d'entreprises industrielles (PME/PMI) et une seconde hypothèse avec l'installation d'une entreprise logistique.

Figure 1 : Plan d'aménagement de la ZAC

C. Synthèse de l'étude

C.1. Synthèse des potentiels en énergies renouvelables

Légende

	Potentiel exploitable sur ZAC
	Potentiel exploitable sous condition à valider
	Potentiel non exploitable/non présent

Energie	Type	Technologie	Atouts	Contraintes
Eolien	Grand Eolien	Eolienne à axe horizontale	-	Zone de contrainte patrimoniale (Val de Loire)
	Petit Eolien	Eolienne à axe vertical	Ventement sur la commune théoriquement suffisant	Condition de ventement local à vérifier par la mesure
Géothermie	Très basse énergie	Sur aquifères superficiels	ZAC en zone éligible	Débits réels à valider mais à priori faible
		Sur champs de sonde	Solution envisageable mais qui ne permettra pas de couvrir 100% des besoins de chauffage (trop de sondes nécessaires)	Potentiel à confirmer par une étude de réponse thermique
	Haute énergie	Forage en doublet	Quantité d'énergie potentiellement très élevée	Etude complémentaire à mener. Coût d'investissement élevé
Bois énergie	Installation individuelle	Bois buche	-	Peu adapté au projet
		Granulés	-	
	Installation collective	Bois plaquettes	Ressource importante à l'échelle régionale	Approvisionnement local à sécuriser Emprise foncière importante à prévoir dans le projet : chaufferie, stockage, aire de retournement pour les livraisons : variable selon la puissance de la chaufferie et l'autonomie recherchée dans le stockage Impact sur la qualité de l'air : Système de traitement des fumées à

Energie	Type	Technologie	Atouts	Contraintes
				prévoir et de gestion des cendres
		Granulés	Ressource présente à l'échelle régionale	Approvisionnement local à sécuriser Emprise foncière à prévoir mais moindre que pour le bois plaquettes Impact sur la qualité de l'air : Système de traitement des fumées à prévoir Coût de l'énergie plus élevé que la plaquette
Méthanisation	-	Méthanisation	-	Peu de ressource locale
Solaire photovoltaïque	-	Solaire photovoltaïque	Gisement favorable Technique largement maîtrisée Pas de consommation de foncier (consommation d'espaces de toitures) Pas d'impact calendrier (mise en œuvre lors de la construction)	Raccordement à sécuriser Surcharge structurelle à prendre en compte à la conception des bâtiments
Solaire thermique	-	Solaire thermique	Gisement favorable Technique largement maîtrisée Pas de consommation de foncier (consommation d'espaces de toitures + quelques locaux techniques) Pas d'impact calendrier (mise en œuvre lors de la construction)	Besoins inconnus à l'heure actuelle mais potentiellement faible

C.2. Synthèse des scénarios – Scénario implantation de 15 PME

Les scénarios les plus favorables par critère sont indiqués en vert.

Scénario	Nom	Coût de l'énergie total sur 30 ans [€ HTVA]	Maintenance totale sur 30 ans [€ HTVA]	Investissement total hors subventions sur 30 ans [€ HTVA]	Subventions [€ HTVA]	Gros entretien total sur 30 ans [€ HTVA]	Revente totale sur 30 ans [€ HTVA]	Coût total sur 30 ans [€ HTVA]	Temps de Retour Dynamique avec subventions [Années]
Solution de base	Chaudière gaz propane	19 816 000 €	88 577 €	360 000 €	0 €	413 000 €	0 €	20 677 577 €	-
SCENARIO 1	PAC air/air	13 564 000 €	177 154 €	870 000 €	0 €	1 003 871 €	0 €	15 615 025 €	5
SCENARIO 2	Chaufferie bois	11 240 000 €	546 224 €	1 262 000 €	366 000 €	501 936 €	0 €	13 916 160 €	3
SCENARIO 3	Chaudière gaz + Solaire photovoltaïque	15 142 000 €	280 000 €	2 917 000 €	0 €	413 000 €	-263 048 €	18 488 952 €	16

C.1. Synthèse des scénarios – Scénario implantation d'une entreprise de logistique

Les scénarios les plus favorables par critère sont indiqués en vert.

Scénario	Nom	Coût de l'énergie total sur 30 ans [€ HTVA]	Maintenance totale sur 30 ans [€ HTVA]	Investissement total hors subventions sur 30 ans [€ HTVA]	Subventions [€ HTVA]	Gros entretien total sur 30 ans [€ HTVA]	Revente totale sur 30 ans [€ HTVA]	Coût total sur 30 ans [€ HTVA]	Temps de Retour Dynamique avec subventions [Années]
Solution de base	Bureau : Chaudière gaz Entrepôts : Panneaux radiants gaz	18 202 000 €	271 636 €	330 000 €	0 €	156 000 €	0 €	18 959 636 €	-
SCENARIO 1	Bureau : PAC VRV Entrepôts : Rooftops avec PAC intégrée	17 120 000 €	171 249 €	726 000 €	0 €	103 340 €	0 €	18 120 588 €	16
SCENARIO 2	Chaufferie bois	13 561 000 €	295 256 €	1 791 000 €	252 000 €	180 106 €	0 €	16 079 363 €	10
SCENARIO 3	Solaire photovoltaïque	16 733 000 €	331 000 €	1 286 000 €	0 €	156 000 €	0 €	18 506 000 €	19

D. Détermination des besoins énergétiques de l'opération

La détermination des niveaux de consommation permet d'évaluer les quantités d'énergie à délivrer et les puissances totales à installer.

L'estimation des consommations de l'opération d'aménagement est réalisée sur la base de scénarios :

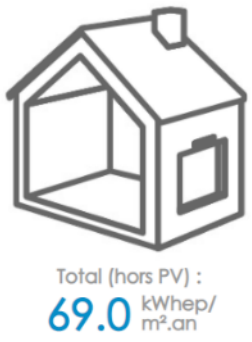
- Un scénario avec l'implantation d'environ 15 entreprises PME/PMI dont l'emprise bâtie couvre 70% de l'emprise cessible simulée soit environ 65 000 m² d'emprise bâtie. La surface de plancher potentielle s'élève à 95 500 m² pour les activités PME/PMI.
- Un scénario avec la simulation de l'implantation du projet logistique intéressé par le site. L'emprise bâtie prévisionnelle porte sur 84 000 m² dont 1 600 m² de surface de bureaux.

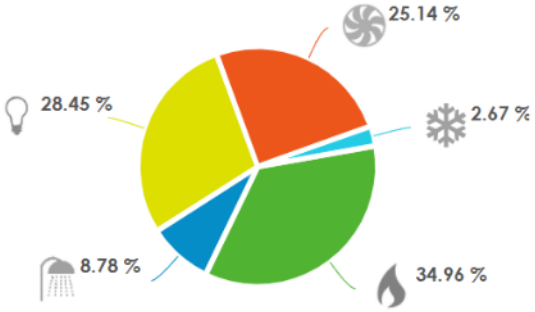
D.1.1. Scénario 1 : Implantation de plusieurs PME

Nous supposons l'implantation de 15 PME de 130 salariés chacune.

La consommation énergétique de PME est très variable en fonction du type d'entreprise qui s'installe. L'estimation est ici basée sur des consommations issues de l'observatoire BBC pour des bâtiments tertiaires labellisé Effinergie (niveau de consommation proche de la RE2020) en Région Centre Val-de-Loire. Il est supposé que toute la surface bâtie est chauffée entièrement ce qui peut surestimer les consommations par rapport à la réalité.

L'observatoire donne une consommation moyenne sur les projets en Région Centre de 69 kWhep/m^2 (les consommations sont exprimées en énergie primaire : multiplication par 2,58 des consommations d'électricité) réparties comme suit :





A ces consommations s'ajoutent les consommations d'électricité spécifique (informatique, équipements, …). Celles-ci sont estimées à 363 kWhef/an/salarié (source : ADEME).

Finalement la puissance de chauffage est calculée à partir du coefficient de déperditions de référence Effinergie qui est de 0,6 W/(m^2.K) majoré de 20% et avec une température extérieure de -7°C (référence en Indre-et-Loire) et une température intérieure de 19°C. La puissance nécessaire s'élève alors à 1 217 kW.

Tableau 1 : Scénario 1 - Détail des consommations par poste

Détail des consommations par poste [MWhep/an]						
Chauffage	ECS	Climatisation	Ventilation	Eclairage	Usages spécifiques	**Total**
1 568	394	120	1128	1276	1826	**6312**

D.1.2. Scénario 2 : Implantation d'une entreprise logistique

Les consommations sont ici calculées sur la base de l'installation d'une entreprise logistique comportant 84 000 m² d'entrepôts chauffés à 12°C, d'une hauteur de 14 m et de 1 600 m² de bureaux chauffés à 20°C. Les consommations sont calculées en Simulation Thermique Dynamique et sont donc directement dépendantes des systèmes de chauffage retenus. Les principales autres hypothèses sont les suivantes :

- Scénario de puissance dissipée issue de la méthode TH-BC-E (bureaux et entrepôt)
- Eclairage atelier : 100 Lux en continu avec une puissance de 2 W/m²
- Eclairage bureau : 500 Lux en horaire standard (lundi au vendredi) avec une puissance de 6 W/m²
- Ventilation des locaux suivant les débits réglementaires
- Parois isolées suivant niveau RT2012 pour les bureaux et isolation moyenne pour les entrepôts

Les différents scénarios étudiés sont les suivants :

Scénario	Chauffage	ECS	Froid	Autres usages électriques
Scénario de base	Chaudière gaz sur réseaux de radiateur pour les bureaux Système de type panneaux radiants gaz pour les entrepôts	Production via la chaudière des bureaux	Pas de consommation de froid	-
Scénario 1	Pompe à chaleur de type VRV pour les bureaux Rooftop avec PAC intégrée pour les entrepôts	Production via ballons électriques pour les bureaux	Production depuis la PAC pour les bureaux Et depuis les rooftops pour les entrepôts	-
Scénario 2	Chaufferie bois alimentant des radiateurs dans les bureaux et des panneaux rayonnants dans les entrepôts	Production via ballons électriques pour les bureaux	Pas de consommation de froid	-
Scénario 3	Chaudière gaz sur réseaux de radiateur pour les bureaux Système de type panneaux radiants gaz pour les entrepôts	Production via la chaudière des bureaux	Pas de consommation de froid	Production solaire photovoltaïque

Scénario	Détail des consommations par poste poste [MWhep/an]						
	Chauffage	ECS	Climatisation	Ventilation	Eclairage	Usages spécifiques	**Total**
Scénario de base	1029	17		320	4014	1522	**6903**
Scénario 1	1231	36	63	1101	4014	1522	**7967**
Scénario 2	932	36		320	4014	1522	**6825**
Scénario 3	1491	17	0	1087	4014	1522	**8131**

La puissance pour le chauffage s'élève à 1480 kW dont 50 kW pour les bureaux et 1430 kW pour les entrepôts.

E. Potentiel en énergies renouvelables de la ZAC

Cette section a pour vocation de décrire l'état des lieux énergétique du site. Ce diagnostic permettra d'identifier les ressources disponibles pour la production d'énergie et d'électricité renouvelables. Cette approche détaillera les critères techniques de faisabilité (potentiel, exploitabilité) et règlementaires (prise en compte des servitudes, éligibilité à la géothermie…). Les sources d'énergie locales identifiées comme opportunes doivent permettre d'assurer l'approvisionnement en électricité, en chaleur et en froid si besoins.

Les ressources énergétiques pouvant être utilisées dans cette optique sont les suivantes :

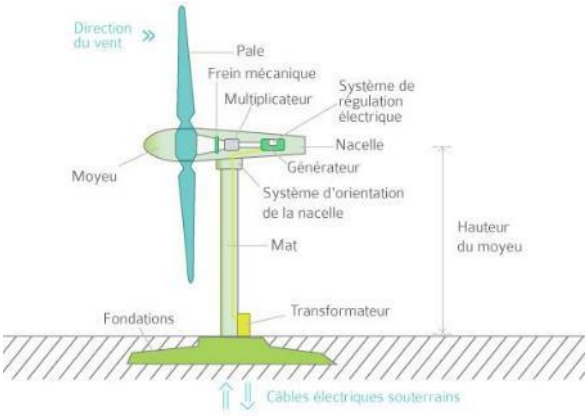
- Énergie solaire (photovoltaïque et thermique),
- Ressource éolienne,
- Ressource géothermique (de surface et profonde),
- Biomasse,
- Méthanisation,
- Récupération de chaleur sur eaux usées et de chaleur fatale.

Par la suite, cet état des lieux sera mis en relation avec l'étude d'opportunité de création de réseaux de chaleur dans le cadre des scénarios d'approvisionnement.

Les principales orientations en matière d'énergies renouvelables sont issues de l'étude menée sur la ZAC Porte de Touraine.

E.1. Eolien

Une éolienne se compose des éléments suivants :



- **Un mât** : permet de placer le rotor à une hauteur suffisante pour permettre son mouvement (nécessaire pour les éoliennes à axe horizontal) ou à une hauteur où le vent souffle de façon plus forte et plus régulière qu'au niveau du sol. Le mât abrite généralement une partie des composants électriques et électroniques (modulateur, commande, multiplicateur, générateur, etc.).
- **Une nacelle :** montée au sommet du mât, abritant les composants mécaniques, pneumatiques, certains composants électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de la machine. La nacelle peut tourner pour orienter la machine dans la bonne direction.
- **Un rotor :** composé de plusieurs pales (en général trois) et du nez de l'éolienne, fixé à la nacelle. Le rotor est entraîné par l'énergie du vent, il est branché directement ou indirectement (via un multiplicateur de vitesse à engrenages) au système mécanique qui utilisera l'énergie recueillie (pompe, générateur électrique…).

Des éléments annexes, comme un poste de livraison pour injecter l'énergie électrique produite au réseau électrique, complètent l'installation ainsi que des fondations pour les éoliennes de plus grande puissance.

Les éoliennes peuvent être :

- **A axe horizontal** : Ce type d'aérogénérateur est le plus répandu. Il utilise la force de portance du vent appliquée aux pales, à la manière des ailes d'un avion, pour actionner un générateur électrique ou une pompe.
- **A axe vertical** :
  - **Type Savonius** : Constitué de demi-cylindres reliés à un axe vertical, ce type d'éolienne utilise la force de traînée du vent, sur le principe des moulins à vent. Son rendement est plus faible que celui des éoliennes qui utilisent la force de portance, mais ce type de machine permet d'exploiter des vitesses de vent plus faibles. De faible encombrement et plus silencieuses que les autres éoliennes, les éoliennes de type Savonius sont idéales pour l'intégration en milieu urbain.
  - **Type Darrieus** : À pales verticales, paraboliques ou hélicoïdales, les éoliennes de type Darrieus utilisent la force de portance du vent, comme les éoliennes classiques. Cependant, leur encombrement plus faible est un avantage en termes d'intégrations paysagère et architecturale.
  - **Type à voilure tournante** : Les éoliennes à voilure tournante sont équipées de pales dont l'orientation dynamique permet de mieux exploiter l'énergie du vent, à la manière d'un navire à voile. Ce mécanisme rend possible l'exploitation de vents plus puissants que ceux que peuvent exploiter les éoliennes classiques à trois pales. En outre, le bruit généré est fortement réduit par ce système.

Eolienne type Savonius	Eolienne type Darrieus	Eolienne à voilure tournante

On distingue trois familles d'éoliennes en fonction de leur puissance :

- **Le petit éolien** : machine dont la puissance est inférieure à 36 kW ;
- **L'éolien de moyenne puissance** : de 36 kW à 250 kW ;
- **Le grand éolien :** Machine de plus de 250 kW (et jusqu'à des puissances de 2 MW).

E.1.1. Grand et moyen éolien

L'étude ENR menée sur la ZAC Porte de Touraine indique que :

« Autrèche ne fait pas parti d'une des zones favorables au développement de l'éolien (ZDE) du Schéma régional éolien (SRE) de la Région Centre-Val de Loire ; la commune se trouve en effet dans une zone de contrainte patrimoniale (Val de Loire) pour le développement de l'énergie éolienne. Par conséquent, seul le petit éolien pourrait être privilégié sur la ZAC, sous réserve d'une étude de caractérisation du potentiel éolien au droit de l'entreprise. »

E.1.2. Petit éolien

Le déploiement du petit éolien (puissance inférieure à 36kW) est a priori envisageable, sous réserve d'études techniques détaillées. L'implantation d'une telle installation, par exemple en toiture pour une éolienne à axe vertical devra faire l'objet d'une étude de ventement pour s'assurer du productible disponible.

D'un point de vue général, dans un environnement urbain, il est difficile d'obtenir de puissants flux d'air, les vents sont souvent turbulents et les rafales fréquentes.

Du fait du régime du vent en milieu urbain les éoliennes à axe vertical ou hélicoïdales seront mieux adaptées à un milieu urbain :

- Ne nécessitent pas de dispositif d'orientation, et permettent de s'affranchir de la direction du vent (vent turbulent)
- Ont une meilleure résistance aux vents forts et aux rafales
- Génère de faibles nuisances sonores
- Peuvent démarrer et produire de l'électricité par vent faible
- Sont relativement discrètes du point de vue de l'esthétisme
- S'intègrent bien aux bâtiments

Néanmoins les éoliennes à axe vertical ont un rendement en général inférieur aux éoliennes à axe horizontal.

E.1.3. Synthèse des potentiels éoliens

Cette ressource est considérée comme non pertinente techniquement et financièrement dans le présent contexte.

	Atouts	Contraintes
Grand Eolien	-	Zone de contrainte patrimoniale (Val de Loire)
Petit Eolien	Ventement sur la commune théoriquement suffisant	Condition de ventement local à vérifier par la mesure

E.2. Géothermie

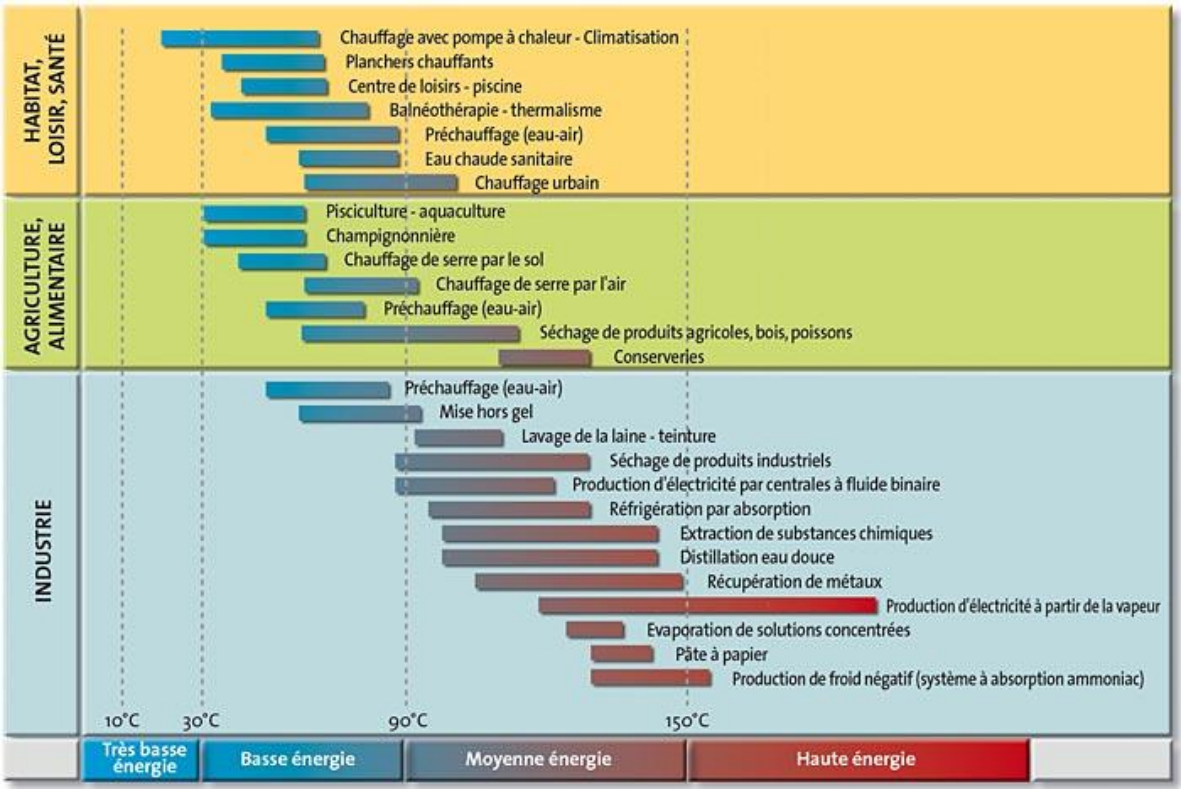
La géothermie désigne l'exploitation de la chaleur contenue dans le sous-sol, qu'elles soient aquifères ou non. Plusieurs technologies d'exploitation de la chaleur sont envisageables :

- Avec utilisation d'une pompe à chaleur lorsque la température ne permet pas un usage direct : ce type de géothermie est qualifié de **géothermie très basse énergie** (température en générale inférieure à 30°C). La chaleur prélevée peut provenir :
  - D'aquifères superficiels par le biais de forages (systèmes en boucle ouverte) ;
  - Par échange avec le sol : La chaleur est récupérée grâce à un fluide caloporteur qui circule dans un échangeur en contact avec le sol (systèmes en boucle fermée).

- Par usage direct de la chaleur (à l'aide d'un échangeur de chaleur) : La température de la ressource est généralement située entre 30°C et 90°C d'où la nécessité d'un aquifère profond : ce type de géothermie est souvent qualifié de **géothermie basse énergie** ;

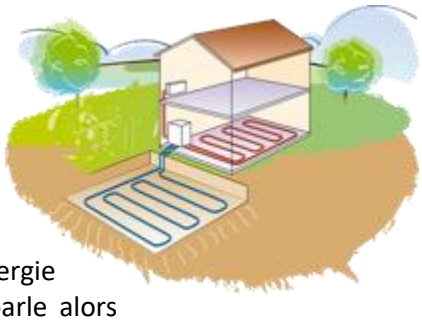
- La **géothermie moyenne énergie** : pour des températures situées entre 90 et 150°C. Elle se présente sous forme d'eau chaude ou de vapeur humide. On la retrouve dans des zones exploitables par la haute énergie mais à une profondeur inférieure à 1 000 mètres. Elle se situe également dans des bassins sédimentaires à une profondeur de 2 000 à 4 000 mètres.

- La **géothermie haute énergie** : pour des températures supérieures à 150°C. Les réservoirs sont localisés entre 1500 et 3000 mètres de profondeur, dans des zones de gradients géothermaux anormalement élevé. Le fluide peut être capté sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité, lorsque le réservoir existe.



E.2.1. Technologies d'exploitation

E.2.1.a) Echangeurs horizontaux



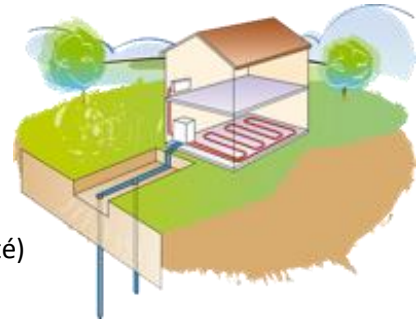
Le capteur horizontal est constitué principalement de tubes en polyéthylène dans lesquels circule de l'eau glycolée (eau + antigel) en circuit fermé. Les tubes sont généralement enterrés à environ 80 cm sous le sol (ou plus précisément 20 cm en dessous du point de gelée de la région).

Etant donnée la faible profondeur de l'enfouissement des tubes, l'énergie géothermique proprement dite ne revêt qu'un rôle secondaire. On parle alors d'énergie géosolaire.
En effet, l'énergie que l'on récupère dans le sol provient essentiellement du rayonnement solaire, du vent et de la pluie par l'infiltration.

Avantages	Inconvénients
• Facile à mettre en œuvre, notamment pour un bâtiment neuf ; • Coût d'investissement limité.	• Surface de pose importante ; • Pas adapté aux terrains en pente ; • Limitation dans l'utilisation du terrain (impossibilité de planter des arbres, pas de piscine, …) ; • Performance influencée par les conditions climatiques.

Cette solution est peu adaptée aux locaux tertiaires (surface de capteur trop importante).

E.2.1.b) Sonde géothermique verticale



Un forage vertical est réalisé par un foreur agréé.
Une sonde géothermique (tube en U, ou double U en polyéthylène) est mise en place dans le forage. Elle contient de l'eau glycolée circulant en circuit fermé utilisée comme source chaude pour la PAC. Elle permet également de rafraichir le bâtiment en géo-cooling (by-pass de la PAC en été) voir de climatiser à l'aide d'une thermo-frigo-pompe (PAC réversible).

La longueur totale des sondes géothermiques dépend de 2 facteurs :

- La puissance de la PAC installée (calculée en fonction des déperditions du bâtiment) ;
- La capacité énergétique du terrain (dépend des conditions géologiques du terrain).

Avantages	Inconvénients
• Profite de la stabilité de la température du sous-sol et du gradient géothermique ; • Espace d'implantation réduit en surface ; • Maintenance des échangeurs simplifiée ; • Possibilité de goudronner ou planter des arbres sur les sondes	• Intervention d'un foreur nécessaire.

Sa variante en champs de sonde est adaptée à la ZAC.

E.2.1.c) Echangeurs compacts

Les échangeurs compacts sont constitués de tuyaux ayant une forme rappelant la corbeille. Le fluide caloporteur descend dans un tube sous forme de ressort et remonte par le centre de la spirale.

Le diamètre d'une corbeille est compris entre 30 cm et 1,5 m pour une hauteur comprise entre 2 m et 3 m.

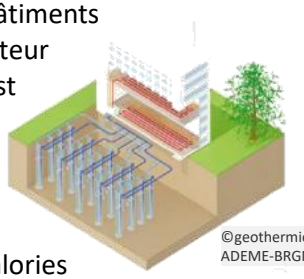
L'installation de ce type de système est en croissance en France mais reste assez faible. Il est plus courant en Allemagne.

Avantages	Inconvénients
• Facile à mettre en œuvre ; • Coût d'investissement faible ; • Surface réduite par rapport aux sondes verticales	• Peu de retour d'expérience en France ; • Performance faiblement influencée par le gradient de température

Cette solution est adaptée à la ZAC, en fonction du potentiel des sols et de la surface disponible.

E.2.1.d) Champs de sondes

La géothermie sur champ de sondes est adaptée au résidentiel collectif ou aux bâtiments tertiaires. Elle consiste à faire circuler, en circuit fermé, un liquide caloporteur (généralement de l'eau glycolée) dans plusieurs sondes verticales. Ce champ est constitué d'un réseau de tubes en polyéthylène, disposés à la verticale dans des forages, qui échange l'énergie (par simple transfert de chaleur) et l'achemine jusqu'à la pompe à chaleur.



©geothermie-perspectives.fr, ADEME-BRGM

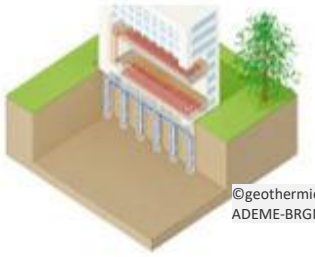
En surface, une ou plusieurs pompes à chaleur permettent de transférer les calories puisées dans le sol vers le bâtiment à chauffer (mode chauffage) ou d'injecter les calories en provenance du bâtiment vers le sol (mode refroidissement). Le champ de sondes peut également être utilisé comme source de rafraîchissement pour le bâtiment sans avoir recours aux pompes à chaleur (geocooling ou freecooling).

Avantages	Inconvénients
• Profite de la stabilité de la température de la nappe et du gradient géothermique ; • Technique simple et indépendante de la présence d'eau ; • Maintenance des échangeurs simplifiée	• Emprise au sol importante

Cette solution est adaptée à la ZAC, en fonction du potentiel des sols et de la surface disponible.

E.2.1.e) Fondations géothermiques

Les boucles géothermiques sont directement intégrées aux pieux de fondation, aux parois moulées ou dans les radiers et permettent un échange avec le sous-sol environnant.


©geothermie-perspectives.fr, ADEME-BRGM

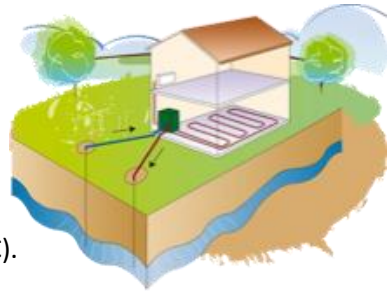
Avantages	Inconvénients
• Profite de la stabilité de la température de la nappe et du gradient géothermique ; • Technique simple et indépendante de la présence d'eau ; • Valorisation énergétique d'un élément structurel du bâtiment ; • Investissement faible	• Applicable uniquement sous certaines conditions géotechniques ; • Contraintes plus importantes sur l'exploitation

Cette solution est adaptée à la ZAC en fonction des contraintes géotechniques et des caractéristiques des sols.

E.2.1.f) Géothermie sur nappe

L'eau de la nappe est prélevée dans un forage par l'intermédiaire d'une pompe immergée. Elle est ensuite rejetée dans un 2ème forage, après qu'on y ait prélevé les calories nécessaires. Les forages d'alimentation et de rejet doivent être espacés au minimum de 15 mètres.

L'eau de la nappe a une température constante toute l'année (environ 10°C).



Avantages	Inconvénients
• Profite de la stabilité de la température de la nappe et du gradient géothermique ; • Espace d'implantation réduit en surface.	• Nécessite la présence d'une nappe avec un débit suffisant et stable ; • Entretien plus important dû aux impuretés de l'eau ; • Qualité de l'eau à prendre en compte ; • La consommation de la pompe de puisage peut devenir importante au-delà de 30 m de profondeur.

Cette solution sera difficilement applicable sur la ZAC (voir potentiel local).

E.2.2. Potentiel local

E.2.2.a) Géothermie très basse énergie

L'atlas des ressources géothermiques réalisé par le BRGM indique que le potentiel en géothermie très basse énergie sur aquifères superficielles est moyen sur la ZAC.

Figure 2 : Cartographie BRGM : Potentiel sur aquifères - Source : geothermies.fr

La première couche exploitable se situe à 6 m de profondeur mais avec des débits relativement faible (max 15 m^3/h).

	Aquifère	Profondeur toit (m)	Épaisseur de la formation	Profondeur piézométrique (m)	Débit (m^3/h)	Potentiel
Aquifère 1	Craie séno-turonienne	6	117 m	6	6 - 15	Moyenne
Aquifère 2	Sables du Cénomanien	136	66 m	11	11 - 17	Faible

Figure 3 : Ressources géothermique sur nappe - Source : geothermies.fr

La ZAC est également éligible à la géothermie sur champs de sondes suivant les résultats du test de réponse thermique des sols. La conductivité thermique du sol est néanmoins théoriquement élevée (2.51 W/(K.m)).

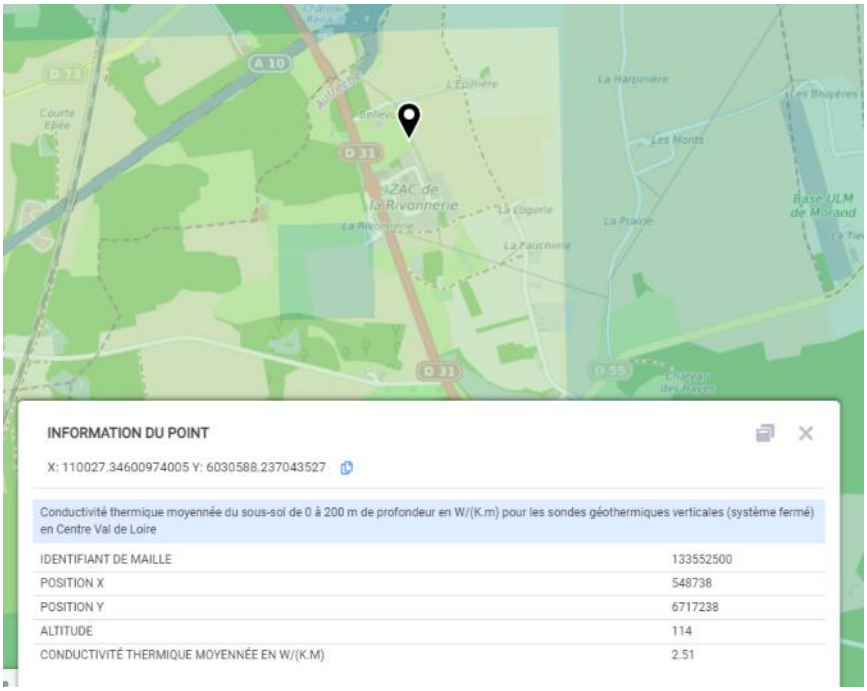


Figure 4 : Cartographie BRGM : Potentiel sur champs de sonde - Source : geothermies.fr

Les installations géothermiques sont en principe soumises à autorisation, ce qui suppose une instruction par les services de l'Etat ainsi qu'une enquête publique.
Ce principe comprend des exceptions :

- Pour les activités dont la profondeur est inférieure à 10m et la puissance inférieure à 500kW, le code minier n'est pas applicable.
- Pour les activités dont la profondeur est comprise entre 10 et 200m, et la puissance inférieure à 500kW, la mise en place est soumise uniquement à une déclaration dite « GMI » (géothermie de minime importance) dématérialisée (article 3, Décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié).

Cette déclaration est effectuée sous forme de télé-déclaration, à l'issue de laquelle un récépissé de télé-déclaration est délivré. Ce récépissé permet de commencer les travaux.
La réalisation d'une activité de GMI est encadrée et n'est pas autorisée uniformément sur le territoire français. Le BRGM tient à jour une carte indiquant le risque lié à une activité géothermique. L'emplacement de la ZAC est situé en zone verte : cela signifie que la procédure GMI est possible (donc uniquement déclaration).

E.2.2.b) Géothermie basse, moyenne et haute énergie

Autrèche se situe dans une zone à fort potentiel en géothermie profonde. Le territoire est traversé par le réservoir du Dogger à une profondeur de 545 m à 662 m (source : BRGM). Les futurs besoins de la ZAC ne semblent néanmoins pas suffisants pour ce type de solution.

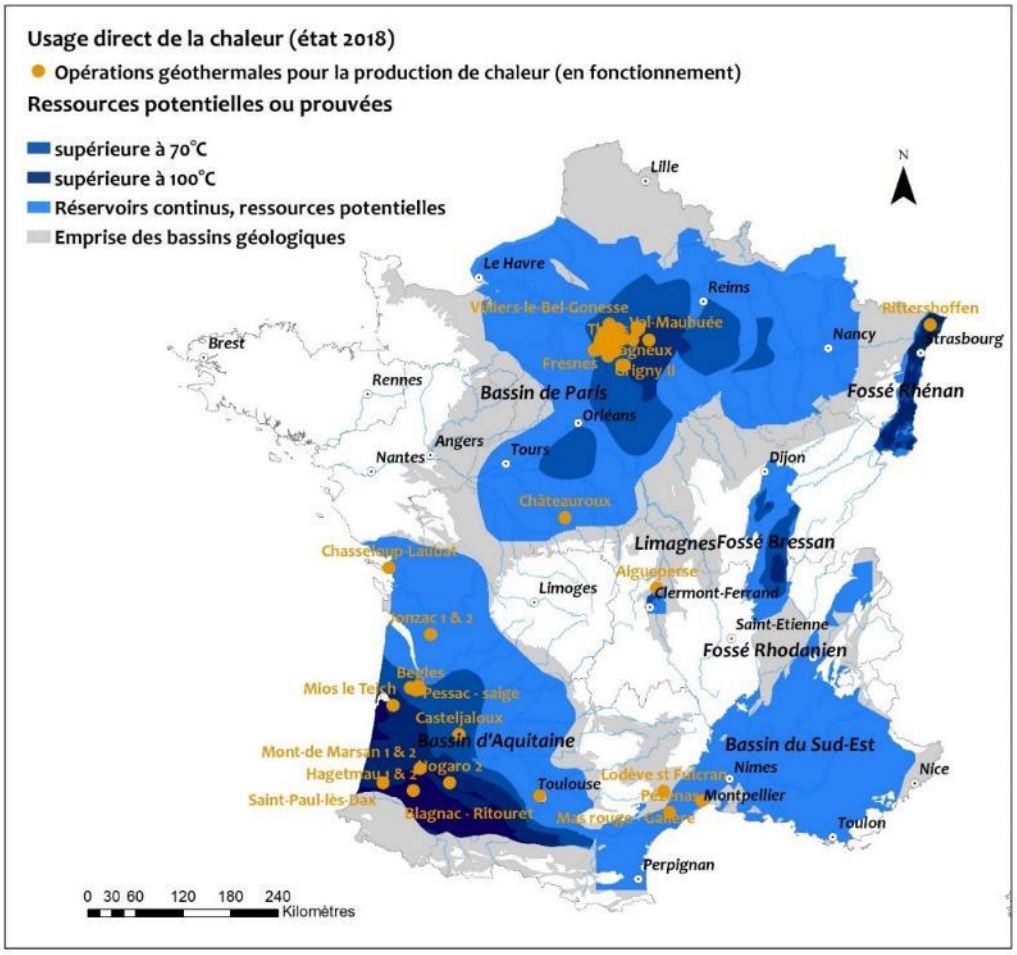


Figure 5 : Potentiel géothermie avec usage direct de la chaleur - Source : BRGM

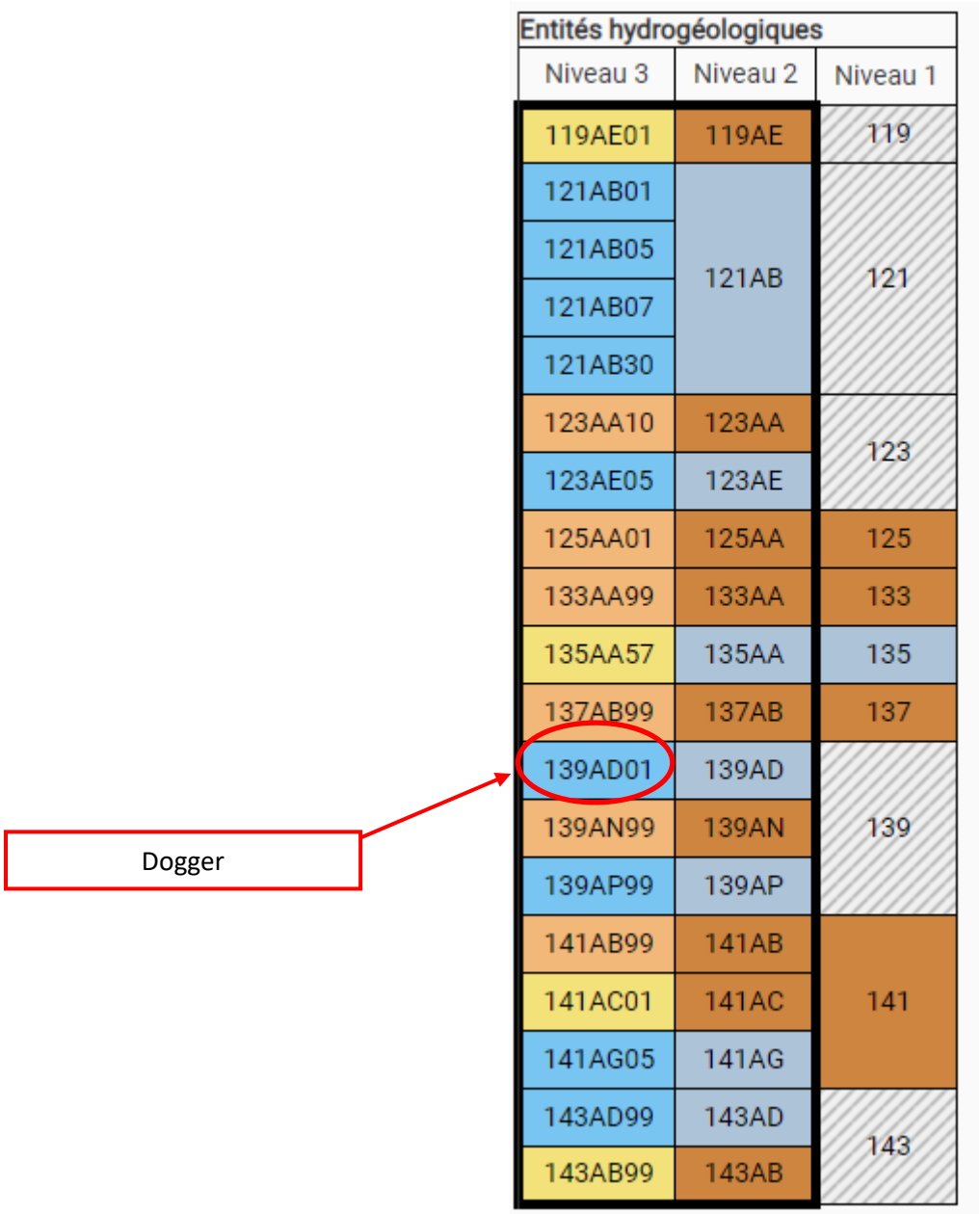


Figure 6 : Coupe géologique sur la ZAC - Source : BD Lisa

E.2.3. Synthèse des potentiels géothermiques

Type	Technologie	Atouts	Contraintes
Très basse énergie	Sur aquifères superficiels	ZAC en zone éligible	Débits réels à valider mais à priori faible
	Sur champs de sonde	Solution envisageable mais qui ne permettra pas de couvrir 100% des besoins de chauffage (trop de sondes nécessaires)	Potentiel à confirmer par une étude de réponse thermique

Type	Technologie	Atouts	Contraintes
Basse et moyenne énergie	Forage en doublet	Quantité d'énergie potentiellement très élevée	Etude complémentaire à mener. Coût d'investissement élevé

E.3. Bois énergie

Le bois est valorisé énergétiquement par sa combustion. Celui-ci est néanmoins transformé et peut donc être brulé sous différentes formes :

- **Bois bûches** : généralement de 33, 50 cm ou 1 mètre de long, les bûches sont le combustible des appareils à alimentation manuelle (utilisées par les particuliers en logement individuel uniquement) ;
- **Granulés de bois :** Ils sont produits par compression et agglomération de sciure (pas d'agent de liaison). Ce sont de petits cylindres de 6 à 10 mm de diamètre et de 2 cm de long. Ils sont utilisés dans les poêles et les chaudières à alimentation automatique de petite puissance. Leur coût est plus élevé que celui des autres combustibles bois mais leur pouvoir calorifique est meilleur du fait de leur grande densité et de leur hygrométrie plus faible et mieux gérée ;
- **Plaquettes (ou bois déchiqueté)** : obtenues par déchiquetage d'arbres, de branches, de sous-produits de l'industrie du bois, etc. Elles sont utilisées dans les chaudières automatiques de plus grande puissance.

Figure 7 : Bois bûche, granulés et plaquettes - Source : Axenne

Le pouvoir calorifique des combustibles bois dépend en grande partie de leur humidité. C'est pourquoi il est nécessaire de sécher le bois avant de le brûler sous forme de bûches ou de le déchiqueter pour en faire des plaquettes. Pour les chaudières de plus grande puissance, le séchage n'est pas indispensable mais l'hygrométrie doit être contrôlée, stable et adaptée à la chaudière.

E.3.1. Les appareils de combustion

La combustion du bois peut être réalisé par différents types d'appareils.

Les appareils indépendants

La traditionnelle cheminée, à foyer ouvert, n'apporte de la chaleur que dans un périmètre restreint par rayonnement. De plus, son rendement est très faible (environ 15%). Elle est plus un élément de décoration qu'un réel moyen de chauffage de la maison. C'est pourquoi il est important de l'équiper d'un appareil permettant d'augmenter son rendement :

- **Foyer fermé** (pour une cheminée à construire) : rendement entre 70 et 80% pour un appareil moderne ;
- **Insert** (pour une cheminée existante) : rendement entre 70 et 80% pour un appareil moderne.

Le dernier type d'appareil indépendant est le poêle qui permet soit le chauffage d'une pièce, soit l'alimentation d'un circuit de chauffage voire la production d'eau chaude sanitaire (pour les plus puissants). Il existe plusieurs types de poêles qui diffèrent au niveau du mode de diffusion de la chaleur, de la technique de combustion, du rendement, du combustible utilisé et de l'autonomie : les poêles classiques à combustion améliorée

Poêle à granulés

(rendement compris entre 70 et 85 %), les poêles de masse et les poêles à granulés (rendement supérieur à 85 %).

Ces appareils sont plutôt adaptés aux logements individuels.

Le chauffage central

Chaudière bois bûche

Le chauffage central est assuré par une chaudière, de la même manière que pour le gaz ou le fioul. Traditionnellement, les chaudières utilisaient comme combustible des bûches avec un chargement manuel. De nos jours, les chaudières à bûche peuvent toujours être utilisées par les particuliers (rendement : entre 60 et 80%) mais on leur préfère souvent les chaudières automatiques, disponibles pour les particuliers (rendement d'une chaudière à granulés : > 85%) ou pour des usages tertiaires et industriels (rendement d'une chaudière à plaquettes : entre 80 et 90%). L'autonomie des chaudières automatiques dépend du combustible utilisé et de la taille du silo de stockage ; elle peut être de quelques jours (chaudière de grande puissance) à une année (chaudière particulière).

Les réseaux de chaleur

Le réseau de distribution, ou réseau de chaleur, est un circuit fermé constitué par des tuyaux enterrés isolés, transportant un fluide caloporteur (eau le plus souvent) entre plusieurs bâtiments. Il part de la chaufferie, dessert les bâtiments raccordés, transmet la chaleur à ces bâtiments puis revient à la chaufferie en retournant le fluide refroidi. Les sous-stations permettent l'échange de chaleur entre le circuit primaire (réseau principal) et les circuits secondaires (installation de chauffage interne à chaque bâtiment). Une sous-station est à prévoir pour chaque bâtiment raccordé.

L'investissement dans un réseau de chaleur alimenté par une chaufferie bois est important, mais un projet bien conçu permet de réduire la facture énergétique finale des consommateurs. L'exploitation peut être confiée localement à un professionnel qui peut également avoir en charge la gestion d'autres réseaux de chaleur sur le territoire. Les réseaux sont en général constitués d'un mix énergétique, avec un appoint au gaz naturel par exemple.

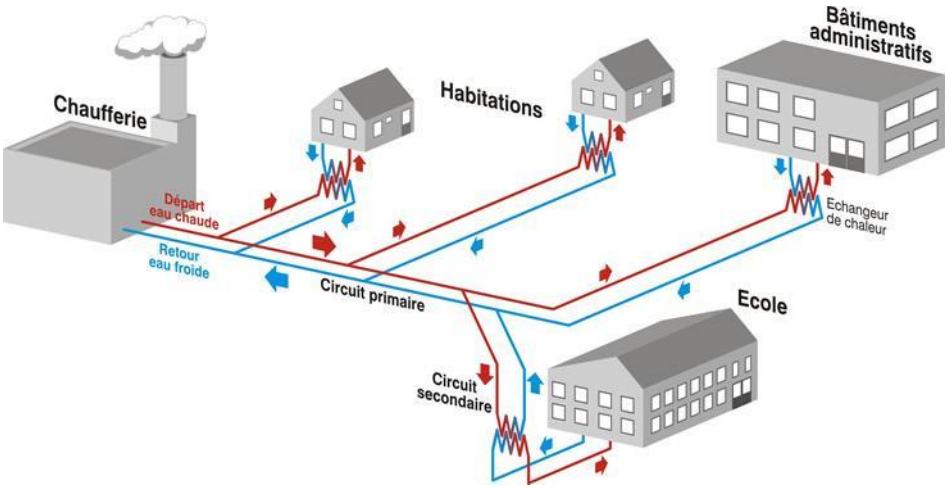


Figure 8 : Schéma de principe d'un réseau de chaleur

La cogénération

La cogénération est la production simultanée de chaleur et d'énergie mécanique, généralement transformée en électricité, à partir d'une même source d'énergie. En récupérant l'énergie thermique perdue d'ordinaire lors de la production d'énergie électrique, la cogénération met à disposition les deux produits – chaleur et

électricité – avec un rendement global nettement plus élevé que celui résultant de filières séparées : le processus correspond donc à une utilisation plus rationnelle de l'énergie.

Les principaux avantages sont des économies de combustible et une meilleure rentabilité, ainsi que des émissions atmosphériques diminuées. Les principales contraintes à la mise en place d'une installation de cogénération sont : la nécessité de disposer de consommateurs de l'énergie thermique à proximité du site, l'importance des investissements et une exploitation plus lourde.

La biomasse peut être utilisée dans les cogénérations utilisant des turbines à vapeur, ou encore des turbines à gaz ou des moteurs à combustion (à condition qu'elle ait subi une gazéification ou une pyrolyse auparavant pour ces deux derniers cas).

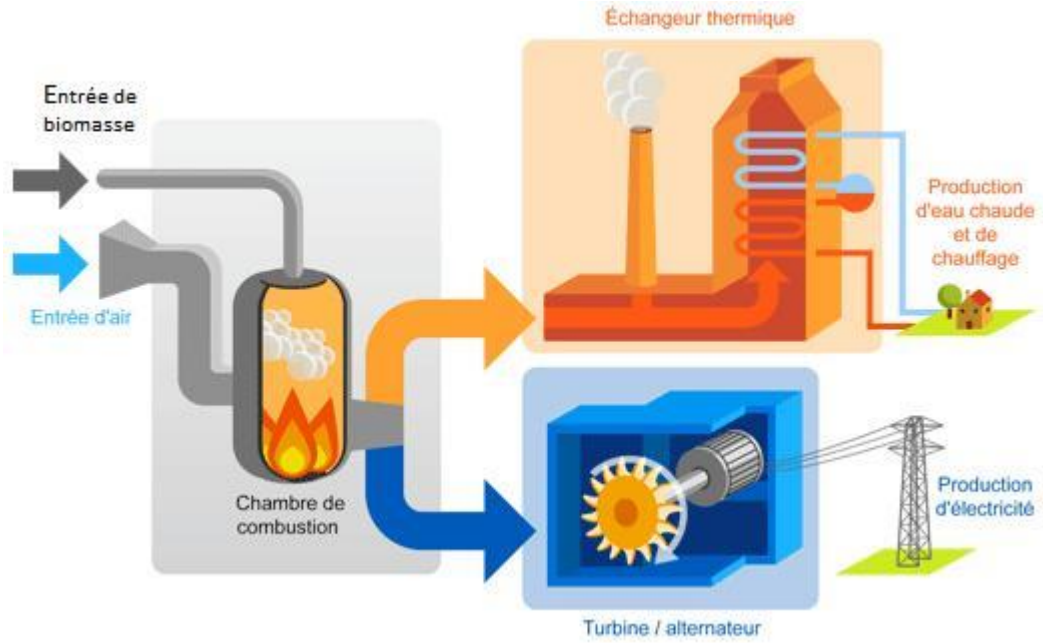


Figure 9 : Schéma de principe de la cogénération - Source : EDF

La cogénération concerne aussi bien le secteur industriel que le secteur tertiaire ou les collectivités, voire les particuliers (filière encore très peu développée). La chaleur peut être utilisée sous forme de vapeur ou d'eau chaude (process industriel, réseau de chaleur, production de froid, etc.) ou sous forme d'air chaud (séchage). Les puissances des moteurs s'étalent entre quelques dizaines de kilowatts à quelques centaines de mégawatts. Les installations de petite taille ont encore des difficultés en termes de rentabilité.

E.3.2. Potentiel local

De nombreux fournisseurs sont présents à proximité de la ZAC ce qui rend cette solution particulièrement intéressante. La Région Centre-Val-de-Loire est par ailleurs fortement boisée ce qui permet un approvisionnement local.

Figure 10 : Fournisseur de bois-énergie - Source : Fibois Centre-Val-de-Loire

E.3.3. Livraison de bois énergie

L'un des points clé de la réussite d'une installation de chaufferie bois est l'implantation du silo d'approvisionnement en bois. Ce silo doit être facilement accessible pour les livraisons de combustible : il doit permettre un remplissage aisé au moment de la livraison et dimensionné pour assurer une autonomie suffisante en chauffage.
La chaudière pourra être installée au même niveau que le silo. Si ce n'est pas le cas, un système de convoyage spécifique devra être prévu pour amener le combustible au niveau du corps de chauffe.

E.3.3.a) Silo pour bois déchiqueté

La livraison de bois déchiqueté en vrac s'effectue grâce à des camions de livraison ou des attelages tracteurs remorque : ce type de livraison par bennage nécessite une réflexion en amont sur l'accès à la parcelle et les manœuvres réalisables sur le site (rayon de courbure du véhicule d'environ 15 à 20 m).

Si le site présente un dénivelé naturel, le silo pourra être conçu en aérien ou semi-enterré afin de limiter les frais de génie civil. Dans le cas contraire, un silo enterré est incontournable (sauf dans le cas de chaudières de grosse puissance avec désilage par échelles carrossables). Les silos doivent être étanches à l'eau et disposer d'un système d'aération du bois, souvent raccordé à la chaufferie

E.3.3.b) Silo pour granulés

L'approvisionnement en granulés étant plus simple à assurer que l'approvisionnement en plaquettes, la conception des silos est plus facile. La livraison du granulé est réalisée par camion souffleur. Cet approvisionnement se fait en aérien grâce à l'utilisation d'un tuyau flexible de soufflage, raccordé au silo par un raccord pompier. De fait, la chaufferie et le silo peuvent être :

- De plain-pied avec raccord pompier à hauteur accessible ;
- En sous-sol, avec raccord pompier rapporté au niveau du Rdc.

E.3.4. Traitement des cendres

Les chaufferies d'une puissance inférieure à 1 MW n'utilisant que de la biomasse à l'état naturel sont en dessous du seuil de déclaration et ne sont pas des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Elles n'ont aucun encadrement réglementaire spécifique. Elles dépendent du Règlement Sanitaire Départemental (du département considéré) qui ne prévoit rien de spécifique concernant les résidus de combustion. En tant que matières fertilisantes, ces résidus peuvent être épandus sous réserve d'être homologués ou normalisés. Le retour au sol des cendres sous foyer constitue donc la voie la plus pertinente au regard de l'intérêt agronomique. Ce dernier est encadré par le Code rural.

Le type de combustible bois utilisé dans la chaufferie a une incidence importante sur la quantité de cendres produites. Un combustible tel que le granulé de bois a une teneur en cendres inférieure à 1%, en général de l'ordre de 0,7%, alors qu'un combustible tel que l'écorce a des taux de cendres pouvant aller jusqu'à 5%. Il est important, au stade de la conception de la chaufferie, de déterminer le type de combustible utilisé et donc d'effectuer une estimation de la production de cendres.

Généralement, une étape intermédiaire de transit/stockage avant l'épandage est nécessaire. Le stockage des cendres est réalisé de deux manières :

- Sur le site de production, dans un caisson de 12 m^3 maximum. Au-delà et au regard de la forte densité des cendres humides, la charge acceptable par le camion est dépassée ;
- Sur une plateforme dédiée. Dans ce cas, il peut s'agir d'une plateforme regroupant la production de cendres de plusieurs sites. Cette solution permet d'optimiser les coûts de fonctionnement et les démarches administratives.

E.3.5. Traitement des fumées

Pour les chaufferies de puissance thermique inférieure à 1 MW, il n'existe pas de réglementation fixant la valeur limite de rejet de poussières. Il est recommandé de retenir la valeur limite réglementaire (arrêté du 25 juillet 1997 modifié) applicable aux chaufferies de puissance thermique comprise entre 1 et 4 MW.

Les trois techniques les plus couramment utilisées pour le traitement des fumées dans les chaufferies bois sont :

- **Le multicyclone** : Le multicyclone utilise la force centrifuge pour capter les poussières. Les fumées issues de la chaudière à bois entrent dans le multicyclone d'une manière tangentielle et sont soumises à un mouvement de rotation. Les particules ou poussières, sous l'effet de la force centrifuge, sont projetées sur les parois et tombent en partie basse du système pour être ensuite collectées. Le multicyclone est généralement intégré dans la chaudière.
- **Le filtre à manches** : Dans un filtre à manches, les fumées chargées de particules entrent d'abord dans un caisson de détention qui permet l'élimination des plus grosses poussières avant de passer au travers de manches de filtration. Les poussières s'accumulent sur le média filtrant. Le décolmatage des particules est, généralement, effectué par injection d'air comprimé à l'intérieur

des manches. Les particules sont ensuite collectées dans une (ou plusieurs) trémie(s) située(s) à la base du filtre.

- **L'électrofiltre** : L'électrofiltre est un mode de dépoussiérage par séparation électrique qui consiste à faire passer les gaz de combustion entre deux électrodes. L'intérieur du filtre est compartimenté au moyen de plaques métalliques régulièrement espacées dans le sens d'écoulement des fumées, reliées à la masse et entre lesquelles se trouvent des fils tendus ou des barres, reliés à une source électrique continue. Le champ électrique qui en résulte exerce sur les poussières chargées électriquement une force qui les précipite sur les plaques réceptrices et les fait tomber dans une trémie d'où elles sont évacuées. Celles qui adhèrent aux plaques sont décollées par un frappage périodique.

Le traitement des poussières par multicyclone est largement utilisé et permet de respecter des seuils de performance de 150 mg/Nm^3. Les techniques de dépoussiérage par filtres à manches et électrofiltres sont utilisées pour des chaufferies où la réglementation fixe une valeur limite de rejet de poussières plus faible, qui ne peut pas être garantie par un multicyclone. En regard des réglementations de plus en plus restrictives, un traitement des poussières par multicyclone peut s'avérer rapidement insuffisant.

E.3.6. Synthèse des potentiels en bois énergie

Type	Technologie	Atouts	Contraintes
Installation individuelle	Bois buche	-	Peu adapté au projet
	Granulés	-	
Installation collective	Bois plaquettes	Ressource importante à l'échelle régionale	Approvisionnement local à sécuriser Emprise foncière importante à prévoir dans le projet : chaufferie, stockage, aire de retournement pour les livraisons : variable selon la puissance de la chaufferie et l'autonomie recherchée dans le stockage Impact sur la qualité de l'air : Système de traitement des fumées à prévoir et de gestion des cendres
	Granulés	Ressource présente à l'échelle régionale	Approvisionnement local à sécuriser Emprise foncière à prévoir mais moindre que pour le bois plaquettes Impact sur la qualité de l'air : Système de traitement des fumées à prévoir Coût de l'énergie plus élevé que la plaquette

E.4. Méthanisation

La digestion anaérobie, également appelée méthanisation, est la décomposition biologique de matières organiques par une activité microbienne naturelle ou contrôlée, en l'absence d'oxygène. C'est ce procédé qui conduit à la production du biogaz.

La formation de biogaz est un phénomène naturel que l'on peut observer par exemple dans les marais. Elle apparaît également dans les installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND), par la décomposition naturelle des déchets organiques. Enfin, elle peut être contrôlée en introduisant des déchets organiques dans un digesteur régulé en température.

E.4.1. Les déchets organiques valorisables

Les déchets méthanisables peuvent être d'origine agricole, municipale ou industrielle :

- Les déchets organiques des exploitations agricoles sont principalement des effluents d'élevage (lisiers, fumiers) ainsi que des résidus de cultures (pailles de céréales ou oléagineux, cannes de maïs) ;

- Les déchets organiques des industries agroalimentaires sont de natures très variées. Par exemple, une industrie de préparation de viande produira des graisses de cuisson, des sous-produits animaux, ainsi que des effluents. Une usine de fabrication de lait produira du lactosérum et des effluents, etc. L'industrie peut également être amenée à produire des boues et graisses si elle dispose d'une station d'épuration des effluents sur son site ;

- Les ménages et collectivités locales produisent également des déchets organiques de types variés : fraction fermentescible des ordures ménagères, boues issues de stations d'épuration ou encore huiles alimentaires usagées produites par la restauration.

L'ensemble de ces déchets peut être valorisé directement sur le site de production ou sur une unité dédiée à la méthanisation, de type « territoriale », où les déchets seront d'origines diverses (agricole et industrielle par exemple).

E.4.2. Description du procédé de méthanisation

La méthanisation consiste à stocker la matière organique dans une cuve hermétique appelée « digesteur » ou « méthaniseur », dans laquelle elle sera soumise à l'action des bactéries. La méthanisation se déroule en quatre étapes principales au cours desquelles différentes familles de bactéries vont intervenir pour dégrader les composantes de la matière organique : l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse.

Le brassage des matières, éventuellement un apport d'eau, mais surtout un chauffage accélère la fermentation et la production de gaz. Celle-ci peut durer de deux semaines à un mois, en fonction de la température de chauffage du mélange.

Plusieurs facteurs physico-chimiques affectent le procédé et doivent être surveillés rigoureusement :

- **La température :** deux plages de températures optimales sont définies suivant les bactéries : la zone mésophile (autour de 35°C) et la zone thermophile (entre 55-60°C) avec une décroissance de l'activité bactérienne de part et d'autre de ces températures.

- **Le pH :** il doit se situer autour de la neutralité pour que les bactéries se développent de manière optimale ; une alimentation en effluents non équilibrée peut entraîner la mort des bactéries par acidose. Il faudra alors réaliser une vidange complète et redémarrer progressivement le digesteur en 3 à 4 mois.

- **La teneur en acides gras volatils (AGV)** : ils peuvent être présents dans le substrat de base (ex : matières végétales ensilées), mais sont également produits lors de la fermentation. Une accumulation d'AGV entraîne une baisse du pH de la solution.

- **La teneur en ammoniac :** il est nécessaire de considérer la teneur en azote des différents substrats introduits dans le digesteur, pour contrôler la teneur en ammoniac du mélange, celui-ci pouvant inhiber l'action des bactéries.

- **Autres facteurs :** l'apport en nutriments, le potentiel d'oxydoréduction, l'agitation, etc.

Il existe deux principaux procédés de méthanisation, adaptés aux substrats traités. Dans les exploitations agricoles françaises, la technique la plus utilisée est la **méthanisation par « voie humide »,** avec un digesteur infiniment mélangé. Les matières en fermentation au sein du digesteur sont brassées pour maintenir un mélange homogène contenant de l'ordre de 15% de matière sèche. Les lisiers, possédant de l'ordre de 5% de matière sèche, sont ainsi un bon substrat de base pour permettre une co-digestion avec des substrats plus secs.

La **méthanisation par « voie sèche »** est adaptée pour les substrats solides, de type fumiers, pailles ou déchets ménagers. Le mélange peut contenir de 20 à 40% de matière sèche.

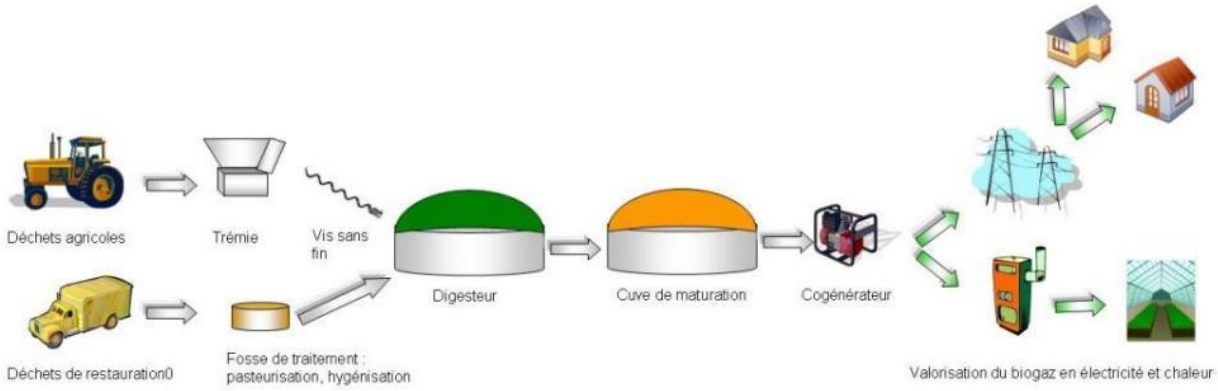


Figure 11 : Descriptif du procédé de méthanisation

E.4.3. Les produits de la méthanisation

Deux types de produits sont issus de la méthanisation :

- **Le biogaz :** composé majoritairement de méthane (de l'ordre de 60 à 80%) et de dioxyde de carbone (20 à 40%) ; il contient également des « éléments traces » (hydrogène sulfuré, ammoniac, etc.). La teneur en méthane est fonction des paramètres évoqués plus haut, ainsi que des matières organiques introduites. Le biogaz peut être valorisé par combustion sous chaudière, cogénération,

comme carburant après épuration, ou encore être injecté sur le réseau de gaz naturel (après épuration).

- **Le digestat :** fraction organique résiduelle de la méthanisation. Il a une valeur fertilisante (présence d'azote sous forme ammoniacale, conservation du potassium et du phosphore), et amendante (conservation de la fraction ligneuse, oligoéléments). Il peut subir une séparation de phase solide / liquide. La fraction liquide peut être utilisée en engrais, et la fraction solide en compost.

E.4.4. Les sites de production

Le biogaz peut être produit sur différents types de sites :

- Les installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND) : biogaz de décharge ;
- Les stations d'épuration urbaine ;
- Les stations d'épuration industrielles ;
- Les installations de méthanisation des ordures ménagères ;
- Les installations de méthanisation agricoles.

Ces installations peuvent être de tailles et structures variées. Il est possible de les classer en trois groupes :

- **Les installations de micro-méthanisation** : Cette solution pouvant être implanté en ville ou à la ferme est encore peu développé en France.
- **Les installations de petite taille,** « à la ferme » sur le site de l'agriculteur. Elles traitent majoritairement des déchets agricoles.
- **Les installations intermédiaires,** de petit collectif, pratiquent la co-digestion avec des substrats d'industries agro-alimentaires, des issues de silo, etc.
- **Les installations « territoriales »** centralisent différents types de substrats (déchets de l'agriculture, d'industries agro-alimentaires et de collectivités) sur un site indépendant.

E.4.5. Potentiel

L'étude ENR de la ZAC Porte d'Autrèche indique que :

« La station d'épuration la plus proche est située au sud-est du bourg près de la Remberge, à environ 1,5 km du parc d'activités. Cet équipement dispose d'une capacité de traitement de 600 équivalents-habitants, et une réserve de plus de 360 équivalents-habitants. Pour autant, aucunes données sur le traitement des boues ne sont indiquées et à priori la STEP ne serait être une source assez abondante de déchets pour alimenter une unité de méthanisation. De même pour les fermes à proximité du site, produisant pour la majorité des céréales et oléoprotéagineux (on ne recense que 66 unités de gros bétail sur la commune en 2010). »

Technologie	Atouts	Contraintes
Méthanisation	-	Peu de ressource locale

E.5. Solaire photovoltaïque

La production de courant par des cellules photovoltaïques repose sur le principe de l'effet photoélectrique. Ces cellules produisent du courant continu à partir du rayonnement solaire. Ensuite l'utilisation de ce courant continu diffère d'une installation à l'autre, selon le but de celle-ci. On distingue principalement deux types d'utilisation, celui où l'installation photovoltaïque est connectée à un réseau de distribution d'électricité et celui où elle ne l'est pas.

Il existe plusieurs technologies de modules solaires photovoltaïques :

- Les **modules solaires monocristallins** possèdent le meilleur rendement au m² et sont essentiellement utilisés lorsque les espaces sont restreints. Le coût, plus élevé que celui d'autres installations de même puissance, contrarie le développement de cette technique ;
- Les **modules solaires polycristallins** ont actuellement le meilleur rapport qualité/prix, c'est pourquoi ce sont les plus utilisés. Ils ont un bon rendement et une bonne durée de vie (plus de 35 ans) ;
- Les **modules solaires amorphes** auront certainement un bon avenir car ils peuvent être souples et ont une meilleure production par faible lumière. Cependant, le silicium amorphe possède un rendement divisé par deux par rapport à celui du cristallin, cette solution nécessite donc une plus grande surface pour la même puissance installée. Toutefois, le prix au m² installé est plus faible que pour des panneaux solaires composés de cellules cristallines.

Certains appareils appelés **panneau photovoltaïque thermique** ou **panneau solaire hybride** produisent de l'électricité comme un panneau photovoltaïque standard mais récupèrent aussi l'énergie thermique pour la transmettre à un fluide caloporteur.

	Type de mise en œuvre	Type de module	Puissance installable par m² de toiture [Wc/m²]
	Toiture inclinée	Modules standards à base de silicium cristallin	125
	Toiture inclinée	Bac acier ou alu PV à base de silicium cristallin ou couche mince	45 à 65
	Toiture inclinée	Tuiles PV à base de silicium cristallin	80 à 125
	Toiture terrasse	Modules standards à base de silicium cristallin montés sur bacs plastiques	45
	Tout type de toitures	Verrière photovoltaïque	De 50 à 125

Tableau 2 : Technologies de panneaux solaires photovoltaïques - Source : HESPUL

Le potentiel de production énergétique par kWc installée est de 1060 kWh/kWc sur la ZAC. Ce potentiel est minorée suivant l'orientation de la toiture et l'inclinaison des panneaux suivants les coefficients suivants :

Orientation	Inclinaison			
	0°	30°	60°	90°
Est	0,93	0,90	0,78	0,55
Sud-Est	0,93	0,96	0,88	0,66
Sud	0,93	1,00	0,91	0,68
Sud-Ouest	0,93	0,96	0,88	0,66
Ouest	0,93	0,90	0,78	0,55

L'orientation des toitures est plein sud et il est supposé une inclinaison optimale à 30°.

Le facteur de correction est donc de 1,00.

E.5.1. Analyse des ombrages

Les toitures ne sont soumises à aucun ombrage et sont donc exploitables à 100%.

E.5.2. Potentiel de production

L'emprise bâti totale est de 84 000 m^2. En supposant que 50% des toitures (orientation sud) sont couvertes, le potentiel de production est alors de 6 233 MWh

Dans le cadre du scénario 1, Les panneaux permettraient de couvrir théoriquement 100 % de la consommation d'électricité de la ZAC. En réalité la couverture est inférieure car les panneaux ne produisent pas toujours au moment où la consommation a lieu. Une couverture de 50% de la consommation (taux d'autoproduction à 50%) représente une surface de 5 681 m^2 de panneaux dans le cadre du scénario d'implantation de 15 PME.

E.5.3. Mode de valorisation économique de la production

Plusieurs solutions de valorisation de la production sont envisageables :

- **La vente en totalité :** L'installation photovoltaïque est directement raccordée au réseau public d'électricité. L'ensemble de la production est vendu à l'acheteur obligé et les bénéfices sont répartis entre les copropriétaires.
- **L'autoconsommation :** L'installation photovoltaïque est divisée en sous-systèmes qui sont raccordés aux points de livraison de chaque logement. Les co-propriétaires bénéficient d'une réduction de leur facture d'électricité sur la part autoconsommée. Ce mode valorisation est éligible aux aides de l'État et l'opération est exonérée de taxe et de CSPE. Toutefois, cette solution reste complexe du fait du nombre de câbles nécessaires et le surcoût à l'investissement peut atteindre 30 % (source : photovoltaique.info) ;

Dans les deux cas d'autoconsommation, le surplus de production peut être :

- Soit **revendu** à un acheteur via un contrat de revente du surplus ;
- Soit **stocké** pour être utilisé par la suite (voir ci-dessous)
- Soit **renvoyé à la terre** : l'énergie est alors perdue. Cette solution diminue le rendement de l'installation mais à l'avantage de réduire les frais de raccordement ;

E.5.4. Stockage de l'énergie

Dans le cadre de l'autoconsommation, plusieurs solutions de stockage sont envisageables :

- **Stockage par batterie solaire** : Solution proche du stockage des voitures électriques, il s'agit de transformer l'énergie électrique en énergie chimique par réaction d'oxydo-réduction ;
- **Stockage via une pile à hydrogène** : Lorsque les besoins énergétiques sont moins importants que la production, l'énergie électrique est stockée sous forme d'hydrogène par hydrolyse puis restituée en fonction des besoins des utilisateurs le moment venu. Pour fonctionner, une pile à hydrogène nécessite de l'eau et de l'électricité. La chaleur de la pile à hydrogène peut également être récupérée pour chauffer des logements (en appoint).
- **Chauffage d'une réserve d'eau :** Ce dispositif détecte les surplus de production photovoltaïque et déclenche une résistance électrique qui va chauffer une réserve d'eau chaude sanitaire.

E.5.5. Raccordement des installations

E.5.5.a) Installations de moins de 18 kVA

Lorsque la demande de raccordement est inférieure ou égale à 18 kVA. Le coût de raccordement est compris entre 0 € (autoconsommation) et 1 400 €TTC (vente totale) si les conditions ci-dessous sont respectées :

- Un réseau électrique basse tension existe à proximité : le bâtiment est déjà raccordé au réseau, ou adjacent à une rue qui est alimentée en électricité.
- L'entité titulaire du contrat de soutirage est la même que celle réalisant la demande de raccordement producteur.
- Le point de raccordement est distant de moins de 250 m du poste de transformation HTA-BT le plus proche en linéaire réseau.

Nous indiquons à ce titre la distance à vol d'oiseau des postes HTA/BT les plus proches. La distance réelle de réseau pourra être plus longue.

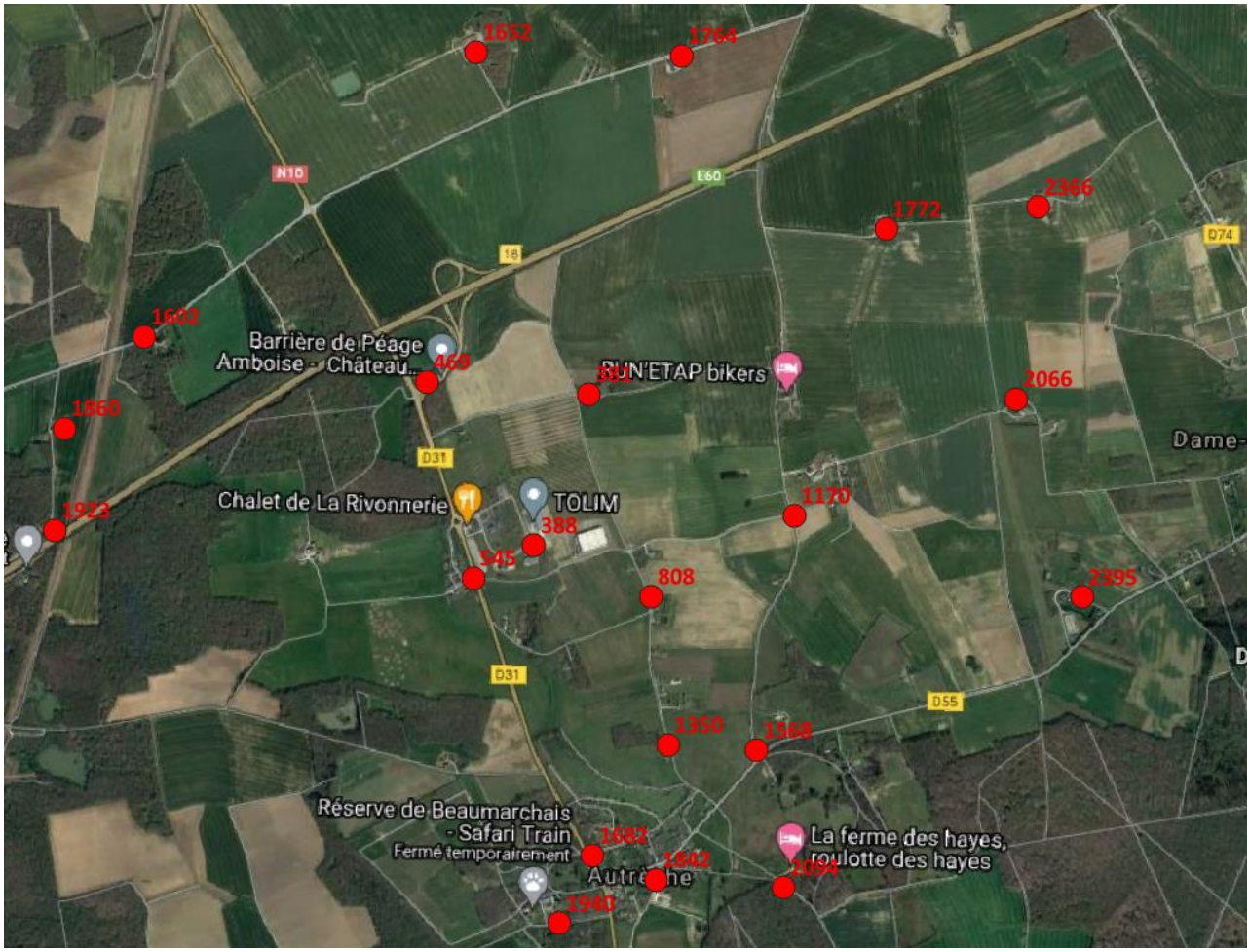


Figure 12 : Distance à vol d'oiseau en mètre des postes HTA/BT

E.5.5.b) Installation entre 18 kVA et 250 kVA

Pour les projets inférieurs à 250 kVA, les ouvrages affectés au périmètre du producteur sont pris en charge à 40 % par les gestionnaires de réseaux via le TURPE. Ce taux de 40 % est appelé réfaction. In fine, le producteur paie 60 % du coût des ouvrages affectés à son périmètre.

E.5.5.c) Installation de plus de 250 kVA

Les installations photovoltaïques de puissance supérieure à 250 kVA sont assujetties à la quote-part S3REnR. Cette quote-part est à payer par l'installateur et représente une part des investissements pour le développement des réseaux.

La quote-part du poste le plus proche (Château-Renault) s'élève à 22,58 €/kW. Sa capacité réservée au titre du S3ENR (échéance à 2020) est de 0 MW mais la capacité de transformation HTB/HTA restante disponible pour l'injection sur le réseau public de distribution est de 38 MW.

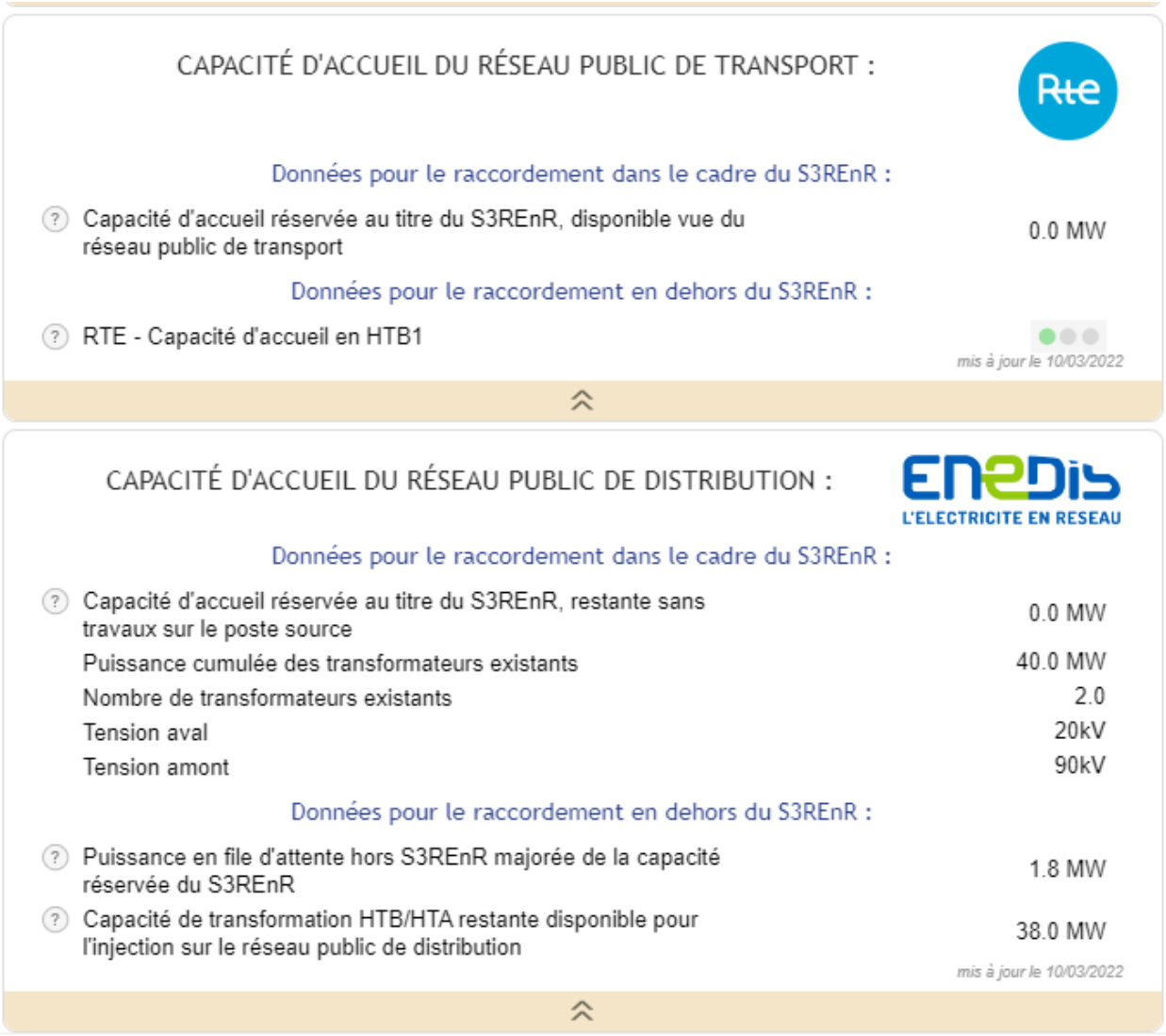


Figure 13 : Capacité d'accueil au poste HTA/BT1 de Château-Renault

E.5.6. Synthèse du potentiel en solaire photovoltaïque

Technologie	Atouts	Contraintes
Solaire photovoltaïque	Gisement favorable Technique largement maîtrisée Pas de consommation de foncier (consommation d'espaces de toitures) Pas d'impact calendrier (mise en œuvre lors de la construction)	Raccordement à sécuriser Surcharge structurelle à prendre en compte à la conception des bâtiments

E.6. Solaire thermique

L'énergie solaire thermique produit de la chaleur à partir des rayons du soleil. Elle peut être utilisée pour le chauffage domestique ou la production d'eau chaude sanitaire. Les capteurs utilisés sont généralement des capteurs plans composés, à partir de l'extérieur, d'un vitrage sélectif, d'une circulation du fluide caloporteur, d'un absorbeur et d'un isolant.

Il existe principalement trois types de panneaux solaires thermiques :

- **Les capteurs plans non-vitrés** : de l'eau circule dans un absorbeur, généralement noir, ouvert à l'air ;
- **Les capteurs plans vitrés** : un fluide caloporteur circule dans un absorbeur, à l'intérieur d'un caisson vitré sur la face exposée au soleil, et isolé sur les autres ;
- **Les collecteurs à tubes sous vide** : ces capteurs sont plus complexes ; chaque élément est constitué de deux tubes de verre concentriques, isolés par le vide. Le fluide caloporteur circule dans un dispositif placé dans le tube central. La très bonne isolation thermique fournie par le vide limite les déperditions, ce qui permet d'atteindre de plus hautes températures lorsque l'écart de températures avec l'extérieur est important, donc notamment en hiver, ou sous des climats froids.

E.6.1. Potentiel solaire

Le potentiel en solaire thermique est directement proportionnel à la surface de toiture disponible. Les panneaux sont dimensionnés pour couvrir entre 50% et 60% des besoins annuels.

Dans le cadre du scénario 1, la couverture de 50% des besoins représente une surface de 492 m^2 de panneaux.

E.6.2. Synthèse du potentiel en solaire thermique

Technologie	Atouts	Contraintes
Solaire thermique	Gisement favorable Technique largement maîtrisée Pas de consommation de foncier (consommation d'espaces de toitures + quelques locaux techniques) Pas d'impact calendrier (mise en œuvre lors de la construction)	Besoins réels inconnus à l'heure actuel

F. Scénario PME - Scénarios d'approvisionnement

F.1. Présentation des scénarios

3 scénarios d'approvisionnement énergétique sont présentés. Ils seront par la suite comparés à un scénario de base.

Scénario	Chauffage	ECS	Froid	Autres usages électriques
Scénario de base	1 Chaudière gaz par PME raccordée à la cuve propane de la ZAC 1	Production via la chaudière	Pas de consommation de froid	-
Scénario 1	1 pompe à chaleur air/air par PME	Production via ballon thermodynamique (1 ballon par PME supposé)	Production depuis la PAC	-
Scénario 2	Chaufferie bois commune à l'échelle de la ZAC	Production via ballon thermodynamique (1 ballon par PME supposé)	Pas de consommation de froid	-
Scénario 3			Pas de consommation de froid	Production solaire photovoltaïque

F.2. Hypothèses de calcul

F.2.1. Coûts et inflation des énergies

Les coûts de l'électricité ainsi que leur augmentation annuelle sont issus des données ADEME.

ENERGIE	Gaz propane	Electricité	Bois plaquettes
Coût unitaire [€ HTVA/kWh]	0,109	0,1438	0,025
Augmentation annuelle [%/an]	4,1%	3,0%	3,1%

Pour le solaire photovoltaïque, il est supposé que 80% de la production est autoconsommée et que les 20% restant sont revendus au tarif de 6 c€/kWh (tarif en vigueur pour les installations de moins de 100 kW).

F.2.2. Systèmes énergétiques

Il est supposé que :

- Les PAC air/eau ont un COP annuel de 2,5 ;
- Les PAC géothermiques ont un COP annuel de 4 ;

F.2.3. Emission de gaz à effet de serre

Les coefficients d'émission de GES utilisés sont ceux utilisés dans le cadre des Diagnostic de Performance Energétique :

Combustibles	CO2 [kg/kWh]
Autres combustibles fossiles	0,32
Bois (Granulés)	0,013
Bois (Bûches)	0,013
Bois (Plaquettes)	0,013
Charbon	0,384
Electricité Renouvelable	0
Electricité	0,084
Fioul	0,3
Gaz naturel	0,234
Gaz propane	0,274

F.3. Investissement

Investissement [€ HTVA]	Scénario de base	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Chaufferie gaz	360 000 €			360 000 €
PAC		825 000 €		
Chaufferie bois			1 144 000 €	
Sous-station			73 000 €	
Solaire PV				2 557 000 €
Ballon thermodynamique		45 000 €	45 000 €	
Total	**360 000 €**	**870 000 €**	**1 262 000 €**	**2 917 000 €**

Il est supposé que 6 645 m² de panneaux photovoltaïques sont posés pour couvrir 50% de la consommation électrique.
Les investissements ne tiennent pas compte des coûts liés à la distribution et à l'émission de chauffage (radiateurs, réseaux hydrauliques) car ces coûts sont trop difficilement évaluables à ce stade.

F.4. Subventions

Les subventions issues du fond chaleur sont intégrées à l'étude.

Poste	Scénario de base	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Chaufferie biomasse			366 000 €	
Total	**0 €**	**0 €**	**366 000 €**	**0 €**

F.5. Maintenance et gros entretien

La maintenance correspond à l'entretien courant des installations. Le gros entretien correspond quant à lui au renouvellement des installations (remplacement des équipements en fin de vie). Celui-ci est lissé sur la période d'étude.

F.5.1. Maintenance (P2)

Maintenance P2 [€ HTVA]	Scénario de base	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Chaufferie gaz	3 000 €			3 000 €
PAC		4 500 €		
Chaufferie bois			17 000 €	
Sous-station				
Solaire PV				6 500 €
Ballon thermodynamique		1 500 €	1 500 €	
Total	**3 000 €**	**6 000 €**	**18 500 €**	**9 500 €**

F.5.2. Gros entretien (P3)

Gros entretien P3 [€HTVA]	Scénario de base	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Chaufferie gaz	14 000 €			14 000 €
PAC		27 000 €		
Chaufferie bois			10 000 €	
Sous-station				
Solaire PV				
Ballon thermodynamique		7 000 €	7 000 €	
Total	**14 000 €**	**34 000 €**	**17 000 €**	**14 000 €**

Le coût de maintenance et gros entretien des PAC et chaudières est élevé à cause de la multiplication des systèmes (une PAC par PME)

F.6. Bilan financier

F.6.1. Bilan sur 30 ans

Le tableau ci-dessous présente un bilan financier sur 30 ans (somme de l'ensemble des 30 premières années).

Scénario	Nom	Coût de l'énergie total sur 30 ans [€ HTVA]	Maintenance totale sur 30 ans [€ HTVA]	Investissement total hors subventions sur 30 ans [€ HTVA]	Subvenions [€ HTVA]	Gros entretien total sur 30 ans [€ HTVA]	Revente totale sur 30 ans [€ HTVA]	Coût total sur 30 ans [€ HTVA]	Temps de Retour Dynamique avec subventions [Années]
Solution de base	Chaudière gaz propane	19 816 000 €	88 577 €	360 000 €	0 €	413 000 €	0 €	20 677 577 €	-
SCENARIO 1	PAC air/air	13 564 000 €	177 154 €	870 000 €	0 €	1 003 871 €	0 €	15 615 025 €	5
SCENARIO 2	Chaufferie bois	11 240 000 €	546 224 €	1 262 000 €	366 000 €	501 936 €	0 €	13 916 160 €	3
SCENARIO 3	Chaudière gaz + Solaire photovoltaïque	15 142 000 €	280 000 €	2 917 000 €	0 €	413 000 €	-263 048 €	18 488 952 €	16

Le scénario de base est le plus cher sur 30 ans.

La solution chaufferie bois est la plus intéressante sur 30 ans notamment grâce au faible prix du bois plaquette. Son investissement est d'ailleurs rapidement rentabilisé par rapport à la solution de base.

Les panneaux photovoltaïques présentent un temps de retour sur investissement de 16 ans ce qui les rend intéressant.

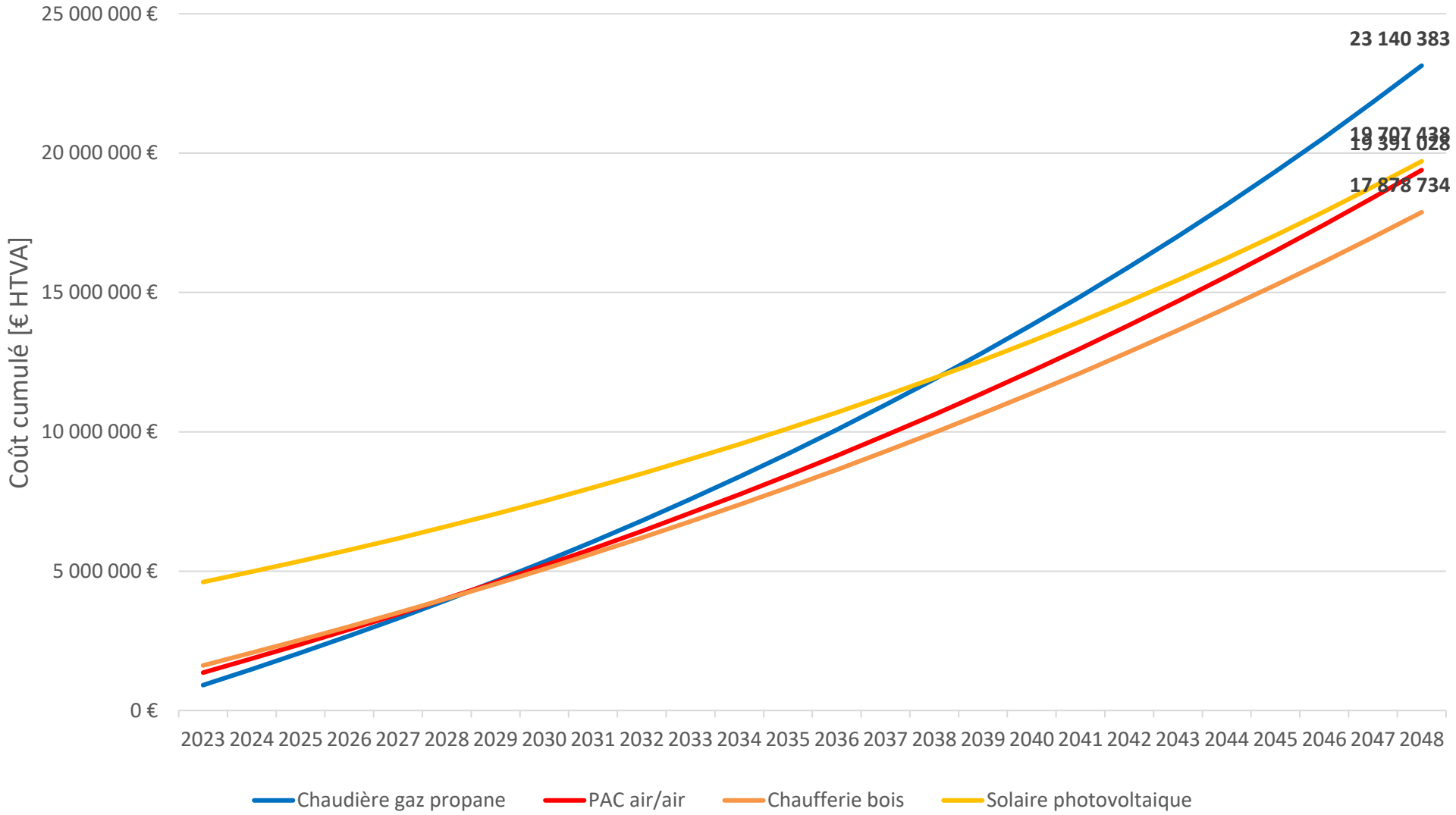


Figure 14 : Comparaison des scénarios sur 30 ans – Coût cumulé

F.6.2. Coût moyen sur 30 ans

Les coûts moyens des différents postes sont exprimés ci-dessous.

Coût moyen [€ HTVA/an]	Fourniture d'énergie [€ HTVA/MWh]	Maintenance [€ HTVA/PME]	Gros entretien [€HTVA/PME]
Scénario de base	181 €	5 905 €	27 533 €
Scénario 1	185 €	11 810 €	66 925 €
Scénario 2	103 €	36 415 €	33 462 €
Scénario 3	180 €	18 667 €	27 533 €

Seul le scénario chaufferie biomasse permet de baisser significativement le coût du MWh produit. Le scénario de base est le moins chère en maintenance et gros entretien.

F.7. Emissions de gaz à effet de serre

Emission de GES [kg éq. CO2/an]	Gaz propane	Electricité	Biomasse	**Total**
Scénario de base	537 516	141 641		**679 158**
Scénario 1		205 512		**205 512**
Scénario 2		141 654	25 503	**167 157**
Scénario 3	537 516	70 821		**608 337**

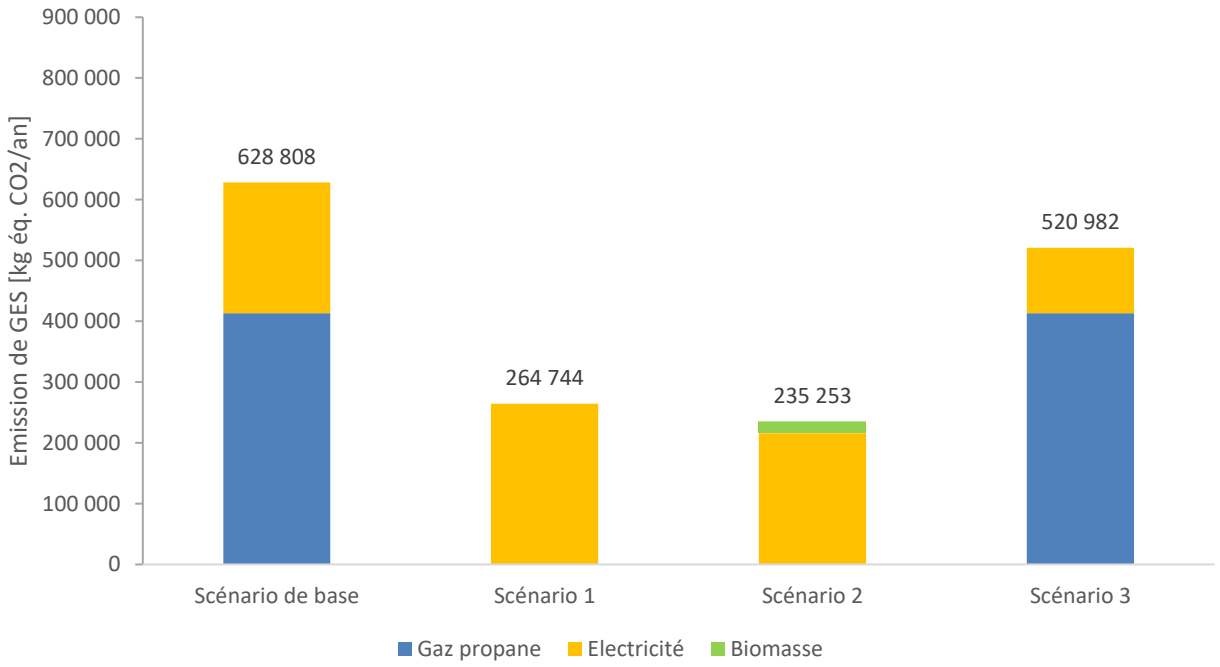


Figure 15 : Emission de GES par énergie

Le gaz propane est très pénalisant dans les émissions de GES des scénarios.

F.8. Autres données des scénarios

Cette section présente d'autres données sur les scénarios :

	SOLUTION DE BASE	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
Emprise foncière	Aucune	Aucune	Chaufferie centralisée d'une surface d'environ 150 m^2	Aucune
Emprise bâti	Chaufferie d'environ 20 m^2 par PME	Chaufferie d'environ 20 m^2 par PME	Sous-station d'environ 15 m^2 par bâtiment	Chaufferie d'environ 20 m^2 par PME
Financement	Financement individuel	Financement individuel	Financement mutualisé	Financement individuel
Démarches administratives	Pas de démarche administrative particulière grâce à la décentralisation de la production	Pas de démarche administrative particulière grâce à la décentralisation de la production	Classement ICPE de la chaufferie de plus de 1 MW	Démarche auprès d'ENEDIS en cas de raccordement du solaire PV au réseau.
Classement du réseau de chaleur	Pas de démarche administrative particulière en l'absence de réseau de chaleur	Pas de démarche administrative particulière en l'absence de réseau de chaleur	Nécessité de classer le réseau pour obtenir une TVA à 5,5%	Pas de démarche administrative particulière en l'absence de réseau de chaleur
TVA applicable	TVA à 20%	TVA à 20%	TVA à 5,5% en cas de classement du réseau	TVA à 20%
Rafraichissement	Pas de rafraichissement possible sans systèmes supplémentaires	Rafraichissement possible via les PAC	Pas de rafraichissement possible sans systèmes supplémentaires	Pas de rafraichissement possible sans systèmes supplémentaires

G. Scénario entreprise de logistique - Scénarios d'approvisionnement

G.1. Présentation des scénarios

3 scénarios d'approvisionnement énergétique sont présentés. Ils seront par la suite comparés à un scénario de base.

Scénario	Chauffage	ECS	Froid	Autres usages électriques
Scénario de base	Chaudière gaz sur réseaux de radiateur pour les bureaux Système de type panneaux radiants gaz pour les entrepôts	Production via la chaudière des bureaux	Pas de consommation de froid	-
Scénario 1	Pompe à chaleur de type VRV pour les bureaux Rooftop avec PAC intégrée pour les entrepôts	Production via ballons électriques pour les bureaux	Production depuis la PAC pour les bureaux Et depuis les rooftops pour les entrepôts	-
Scénario 2	Chaufferie bois alimentant des radiateurs dans les bureaux et des panneaux rayonnants dans les entrepôts	Production via ballons électriques pour les bureaux	Pas de consommation de froid	-
Scénario 3	Chaudière gaz sur réseaux de radiateur pour les bureaux Système de type panneaux radiants gaz pour les entrepôts	Production via la chaudière des bureaux	Pas de consommation de froid	Production solaire photovoltaïque par 2 125 m^2 de panneaux en autoconsommation

G.2. Hypothèses de calcul

G.2.1. Coûts et inflation des énergies

Les coûts de l'électricité ainsi que leurs augmentations annuelles sont issues des données ADEME.

ENERGIE	Gaz propane	Electricité	Bois plaquettes
Coût unitaire [€ HTVA/kWh]	0,109	0,1438	0,025
Augmentation annuelle [%/an]	4,1%	3,0%	3,1%

Pour le solaire photovoltaïque, il est supposé que 100% de la production est autoconsommée.

G.2.2. Emission de gaz à effet de serre

Les coefficients d'émission de GES utilisés sont ceux utilisés dans le cadre des Diagnostic de Performance Energétique :

Combustibles	CO2 [kg/kWh]
Autres combustibles fossiles	0,32
Bois (Granulés)	0,013
Bois (Bûches)	0,013
Bois (Plaquettes)	0,013
Charbon	0,384
Electricité Renouvelable	0
Electricité	0,084
Fioul	0,3
Gaz naturel	0,234
Gaz propane	0,274

G.3. Investissement

Investissement [€ HTVA]	Scénario de base	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Chaudière gaz	8 000 €			8 000 €
Réseau radiateurs bureaux	50 000 €		50 000 €	50 000 €
Panneaux radiants gaz	272 000 €			272 000 €
PAC bureau (type VRV)		30 000 €		
Unités intérieures bureaux		100 000 €		
Rooftops		595 000 €		
Chaufferie bois			1 392 000 €	
Panneaux rayonnants eau chaude			348 000 €	
Solaire PV				956 000 €
Ballon électrique ECS		1 000 €	1 000 €	
Total	**330 000 €**	**726 000 €**	**1 791 000 €**	**1 286 000 €**

Il est supposé que 2 125 m^2 de panneaux photovoltaïques. L'investissement ne prend pas en compte les renforcements de structure et le renforcement du réseau ENEDIS.

G.4. Subventions

Les subventions issues du fond chaleur sont intégrées à l'étude.

Poste	Scénario de base	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Chaufferie biomasse			252 000 €	
Total	**0 €**	**0 €**	**252 000 €**	**0 €**

G.5. Maintenance et gros entretien

La maintenance correspond à l'entretien courant des installations. Le gros entretien correspond quant à lui au renouvellement des installations (remplacement des équipements en fin de vie). Celui-ci est lissé sur la période d'étude (30 ans).

G.5.1. Maintenance (P2)

Maintenance P2 [€ HTVA]	Scénario de base	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Chaudière gaz	200 €			200 €
Réseau radiateurs bureaux				0 €
Panneaux radiants gaz	9 000 €			9 000 €
VRV		300 €		
Unités intérieures		1 300 €		
Rooftops		4 200 €		
Chaufferie bois			10 000 €	
Panneaux rayonnants eau chaude				
Solaire PV				2 000 €

Maintenance P2 [€ HTVA]	Scénario de base	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Ballon électrique ECS				
Total	**9 200 €**	**5 800 €**	**10 000 €**	**11 200 €**

G.5.2. Gros entretien (P3)

Gros entretien P3 [€HTVA]	Scénario de base	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Chaudière gaz	300 €			300 €
Réseau radiateurs bureaux				0 €
Panneaux radiants gaz	5 000 €			5 000 €
VRV		600 €		
Unités intérieures				
Rooftops		2 800 €		
Chaufferie bois			6 000 €	
Panneaux rayonnants eau chaude				
Solaire PV				
Ballon électrique ECS		100 €	100 €	
Total	**5 300 €**	**3 500 €**	**6 100 €**	**5 300 €**

G.6. Bilan financier

G.6.1. Bilan sur 30 ans

Le tableau ci-dessous présente un bilan financier sur 30 ans (somme de l'ensemble des 30 premières années).

Scénario	Nom	Coût de l'énergie total sur 30 ans [€ HTVA]	Maintenance totale sur 30 ans [€ HTVA]	Investissement total hors subventions sur 30 ans [€ HTVA]	Subvenions [€ HTVA]	Gros entretien total sur 30 ans [€ HTVA]	Revente totale sur 30 ans [€ HTVA]	Coût total sur 30 ans [€ HTVA]	Temps de Retour Dynamique avec subventions [Années]
Solution de base	Bureau : Chaudière gaz Entrepôts : Panneaux radiants gaz	18 202 000 €	271 636 €	330 000 €	0 €	156 000 €	0 €	18 959 636 €	-
SCENARIO 1	Bureau : PAC VRV Entrepôts : Rooftops avec PAC intégrée	17 120 000 €	171 249 €	726 000 €	0 €	103 340 €	0 €	18 120 588 €	16
SCENARIO 2	Chaufferie bois	13 561 000 €	295 256 €	1 791 000 €	252 000 €	180 106 €	0 €	16 079 363 €	10
SCENARIO 3	Solaire photovoltaïque	16 733 000 €	331 000 €	1 286 000 €	0 €	156 000 €	0 €	18 506 000 €	19

Le scénario de base est le plus cher sur 30 ans.

La solution chaufferie bois est la plus intéressante sur 30 ans notamment grâce au faible prix du bois plaquette. Son investissement est rentabilisé en 10 ans par rapport à la solution de base. Les panneaux photovoltaïques présentent un temps de retour sur investissement de 19 ans ce qui les rend intéressant.

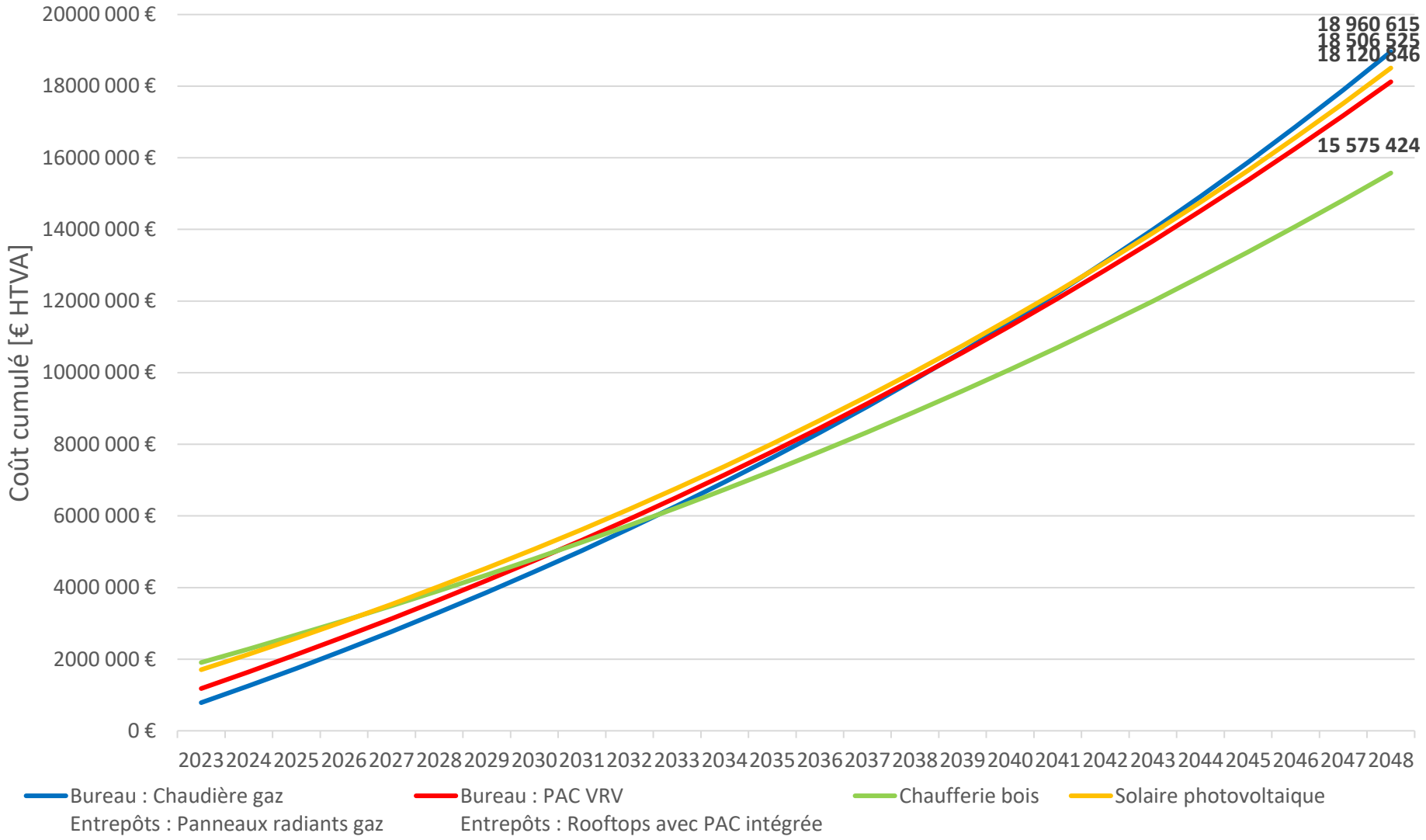


Figure 16 : Comparaison des scénarios sur 30 ans – Coût cumulé

G.6.2. Coût moyen sur 30 ans

Les coûts moyens des différents postes sont exprimés ci-dessous. Il s'agit du coût moyen payé par an sur 30 ans.

Coût moyen [€ HTVA/an]	Fourniture d'énergie	Maintenance	Gros entretien	Total
Scénario de base	606 733 €	9 055 €	5 200 €	**620 988 €**
Scénario 1	570 667 €	5 708 €	3 445 €	**579 820 €**
Scénario 2	452 033 €	9 842 €	6 004 €	**467 879 €**
Scénario 3	557 767 €	11 033 €	5 200 €	**574 000 €**

L'énergie est le poste le plus chère. La solution chaufferie bois profite donc du coût faible du bois plaquette par rapport à l'électricité ou le gaz propane.

G.7. Emissions de gaz à effet de serre

Emission de GES [kg éq. CO2/an]	Gaz propane	Electricité	Biomasse	**Total**
Scénario de base	286 604	191 233		**477 837**
Scénario 1		259 401		**259 401**
Scénario 2		191 856	12 122	**203 978**
Scénario 3	286 604	168 973		**455 577**

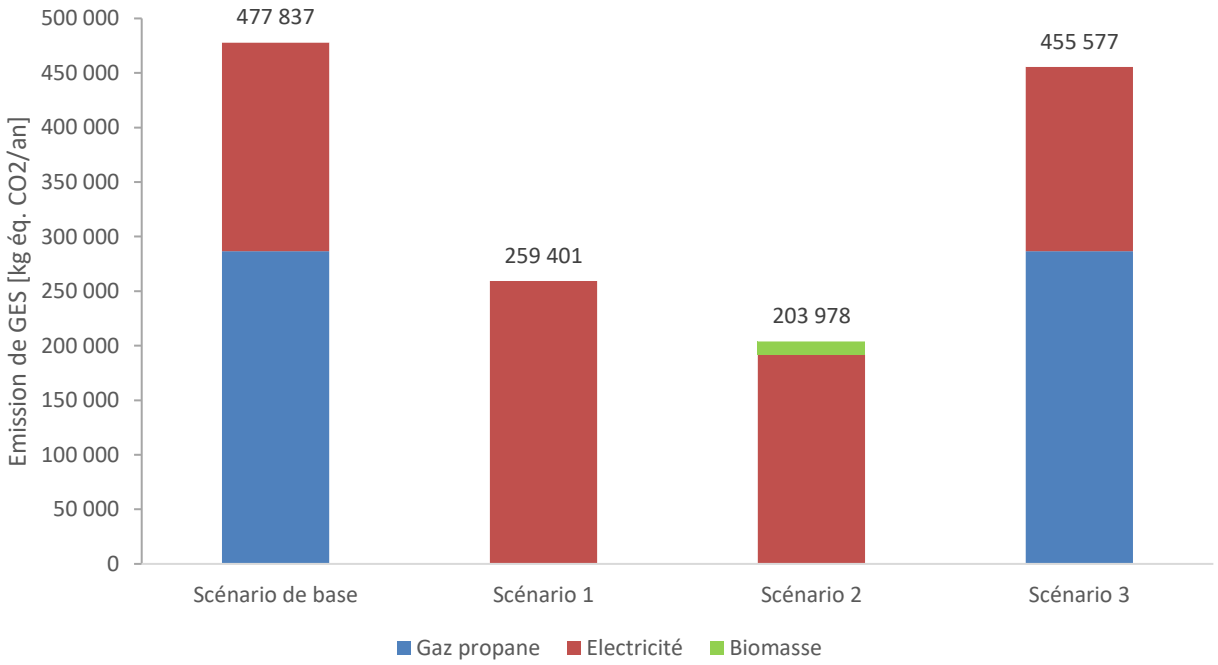


Figure 17 : Emission de GES par énergie

Le gaz propane est très pénalisant dans les émissions de GES des scénarios.

G.1. Autres données des scénarios

Cette section présente d'autres données sur les scénarios :

	SOLUTION DE BASE	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
Emprise foncière	Aucune	Aucune	Chaufferie centralisée d'une surface d'environ 150 m^2	Aucune
Emprise bâti	Très faible (petit local de 5 m^2 pour la chaudière gaz des bureaux)	Aucune (Rooftops en toiture et PAC VRV à l'extérieur)	Sous-station à prévoir pour les bureaux (environ 5 à 10 m^2)	Très faible (petit local de 5 m^2 pour la chaudière gaz des bureaux)
Financement	Financement individuel	Financement individuel	Financement individuel	Financement individuel, possibilité de financer des panneaux en revente via un loyer
Démarches administratives	Pas de démarche administrative particulière grâce à la décentralisation de la production	Pas de démarche administrative particulière grâce à la décentralisation de la production	Classement ICPE de la chaufferie de plus de 1 MW	Démarche auprès d'ENEDIS en cas de raccordement du solaire PV au réseau.
Classement du réseau de chaleur	Pas de démarche administrative particulière en l'absence de réseau de chaleur	Pas de démarche administrative particulière en l'absence de réseau de chaleur	Pas de classement possible (un seul acheteur)	Pas de démarche administrative particulière en l'absence de réseau de chaleur
TVA applicable	TVA à 20%	TVA à 20%	TVA à 20%	TVA à 20%
Rafraichissement	Pas de rafraichissement possible sans systèmes supplémentaires	Rafraichissement possible via les PAC	Pas de rafraichissement possible sans systèmes supplémentaires	Pas de rafraichissement possible sans systèmes supplémentaires

H. Conclusion

Cette étude d'opportunité en énergies renouvelables sur le projet de la PORTE DE TOURAINE constitue une première approche de faisabilité technique et de comparatif technicoéconomique et environnemental destinée à explorer les solutions énergétiques envisageables et proposer une stratégie.

H.1. Scénario implantation de 15 PME

3 solutions d'approvisionnement énergétiques ont été étudiées et comparées à une solution de base :

Scénario	Chauffage	ECS	Froid	Autres usages électriques
Scénario de base	1 Chaudière gaz par PME raccordée à la cuve propane de la ZAC 1	Production via la chaudière	Pas de consommation de froid	-
Scénario 1	1 pompe à chaleur air/air par PME	Production via ballon thermodynamique (1 ballon par PME supposé)	Production depuis la PAC	-
Scénario 2	Chaufferie bois commune à l'échelle de la ZAC	Production via ballon thermodynamique (1 ballon par PME supposé)	Pas de consommation de froid	-
Scénario 3	1 Chaudière gaz par PME raccordée à la cuve propane de la ZAC 1	Production via la chaudière	Pas de consommation de froid	Production solaire photovoltaïque

L'étude a permis de montrer que :

- Le scénario de base est le moins cher à l'investissement ;
- Le scénario 2 est le moins cher en coût global sur 30 ans. Il est par ailleurs rentabilisé en 3 ans par rapport au scénario de base ;
- Le scénario 2 est celui qui permet de réduire le plus les émissions de gaz à effet de serre.

H.2. Scénario implantation d'une entreprise de logistique

3 solutions d'approvisionnement énergétiques ont été étudiées et comparées à une solution de base :

Scénario	Chauffage	ECS	Froid	Autres usages électriques
Scénario de base	Chaudière gaz sur réseaux de radiateur pour les bureaux Système de type panneaux radiants gaz pour les entrepôts	Production via la chaudière des bureaux	Pas de consommation de froid	-
Scénario 1	Pompe à chaleur de type VRV pour les bureaux Rooftop avec PAC intégrée pour les entrepôts	Production via ballons électriques pour les bureaux	Production depuis la PAC pour les bureaux Et depuis les rooftops pour les entrepôts	-
Scénario 2	Chaufferie bois alimentant des radiateurs dans les bureaux et des panneaux rayonnants dans les entrepôts	Production via ballons électriques pour les bureaux	Pas de consommation de froid	-
Scénario 3	Chaudière gaz sur réseaux de radiateur pour les bureaux Système de type panneaux radiants gaz pour les entrepôts	Production via la chaudière des bureaux	Pas de consommation de froid	Production solaire photovoltaïque par 2 125 m^2 de panneaux en autoconsommation

L'étude a permis de montrer que :

- Le scénario de base est le moins cher à l'investissement ;
- Le scénario 2 est le moins cher en coût global sur 30 ans. Il est par ailleurs rentabilisé en 10 ans par rapport au scénario de base ;
- Le scénario 2 est celui qui permet de réduire le plus les émissions de gaz à effet de serre.

I. Table des illustrations

I.1. Tableaux

Tableau 1 : Scénario 1 - Détail des consommations par poste 11
Tableau 2 : Technologies de panneaux solaires photovoltaïques - Source : HESPUL 35

I.2. Figures

Figure 1 : Plan d'aménagement de la ZAC 5
Figure 2 : Cartographie BRGM : Potentiel sur aquifères - Source : geothermies.fr 20
Figure 3 : Ressources géothermique sur nappe - Source : geothermies.fr 20
Figure 4 : Cartographie BRGM : Potentiel sur champs de sonde - Source : geothermies.fr 21
Figure 5 : Potentiel géothermie avec usage direct de la chaleur - Source : BRGM 22
Figure 6 : Coupe géologique sur la ZAC - Source : BD Lisa 23
Figure 7 : Bois bûche, granulés et plaquettes - Source : Axenne 25
Figure 8 : Schéma de principe d'un réseau de chaleur 26
Figure 9 : Schéma de principe de la cogénération - Source : EDF 27
Figure 10 : Fournisseur de bois-énergie - Source : Fibois Centre-Val-de-Loire 28
Figure 11 : Descriptif du procédé de méthanisation 33
Figure 12 : Distance à vol d'oiseau en mètre des postes HTA/BT 38
Figure 13 : Capacité d'accueil au poste HTA/BT1 de Château-Renault 39
Figure 14 : Comparaison des scénarios sur 30 ans – Coût cumulé 46
Figure 15 : Emission de GES par énergie 47
Figure 16 : Comparaison des scénarios sur 30 ans – Coût cumulé 54
Figure 17 : Emission de GES par énergie 55

I.1. Equations

Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.