

Maîtrise d'œuvre urbaine et opérationnelle pour la réalisation de l'opération « La Houssaye » à Saint-Malo (35)

ETUDE POUR LA DESSERTE ENERGETIQUE

V2.0 – 18/07/2025

Maître d'Ouvrage
Mairie de Saint-Malo



ZAC LA HOUSAYE

AVANT PROPOS

Le présent document a pour objet d'étudier la desserte énergétique de la **ZAC de La Houssaye**, sur la commune de Saint-Malo (35).

Fortement engagée dans la transition énergétique, la commune de Saint-Malo souhaite imposer, dans le cadre des futurs aménagements sur son territoire, de fortes exigences de sobriété énergétique et de production d'énergies renouvelables.

Saint-Malo va aménager, en extension urbaine, la zone d'Aménagement Concerté de la Houssaye destinée à recevoir **315 logements** sur environ 11 ha. L'esquisse, réalisée par un groupement de maîtrise d'œuvre, a été approuvée par le conseil municipal le 18 avril 2024.

Dans ce cadre, la ville souhaite définir la stratégie de desserte énergétique de cette ZAC. L'étude sera être étendue aux quartiers avoisinants :

- Zone commerciale existante (10,7 ha),
- Zone campus existante (26,5 ha),
- Zone campus à venir, dite zone campus 2 (24,6 ha).

La première phase (mission 1) de l'étude identifie les besoins énergétiques des constructions dans ces différents secteurs ainsi que leurs moyens potentiels d'approvisionnement énergétique. La production d'énergie renouvelable est étudiée (dont la récupération des énergies fatales) ainsi que les possibilités d'**autoconsommation collective**.

La seconde phase (mission 2) consiste à vérifier la faisabilité technique, temporelle, financière et juridique de ces scénarios.

Le présent rapport est constitué de deux parties distinctes :

- Un volet « **Contexte et Objectifs** », posant les bases du contexte réglementaire et présentant le projet dans sa globalité ;
- Un volet « **Opportunités et Faisabilité** », comprenant d'une part l'analyse des besoins du projet et l'analyse du potentiel en énergies renouvelables locales, et d'autre part l'étude approfondie et la comparaison de scénarios « renouvelables » avec un scénario conventionnel, selon des critères techniques, économiques et environnementaux.

ZAC LA HOUSSAYE

VOLET 01

P. 05

CONTEXTE & OBJECTIFS

I. AVANT PROPOS

1. Cadre réglementaire de l'étude
2. Orientations générales de l'étude
3. Développement des ENR et maîtrise de l'énergie

II. LE PROJET ET SON CONTEXTE

1. Présentation de l'opération d'aménagement
2. Environnement du projet
3. Quels objectifs pour l'aménageur ?
4. Ambitions environnementales de la Collectivité
5. Allotissement prévu et contraintes associées

III. METHODOLOGIE

1. Analyse des besoins
2. Analyse des opportunités locales et prédimensionnement
3. Faisabilité économique et analyse multicritère
4. Scénarios énergétiques pressentis

VOLET 02

P. 14

OPPORTUNITES & FAISABILITE

I. OPPORTUNITES DU PROJET (Mission 1)

1. Evaluation des besoins en énergie, par usage
2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

II. FAISABILITE (Mission 2)

1. Présentation des scénarios pressentis
2. Examen approfondi des techniques privilégiées
3. Analyse multicritère

VOLET 01

CONTEXTE & OBJECTIFS

I. AVANT PROPOS

1. Cadre réglementaire de l'étude
2. Orientations générales de l'étude
3. Développement des ENR et maîtrise de l'énergie

II. LE PROJET ET SON CONTEXTE

1. Présentation de l'opération d'aménagement
2. Environnement du projet
3. Quels objectifs pour l'aménageur ?
4. Ambitions environnementales de la Collectivité
5. Allotissement prévu et contraintes associées

III. METHODOLOGIE

1. Analyse des besoins
2. Analyse des opportunités locales et prédimensionnement
3. Faisabilité économique et analyse multicritères
4. Scénarios énergétiques pressentis

ZAC LA HOUSSAYE

AVANT PROPOS

1. Cadre réglementaire de l'étude

L'étude s'inscrit dans le cadre de l'article 300-1 du Code de l'Urbanisme, qui stipule :

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

L'objet de l'étude sur le développement des énergies renouvelables est de contribuer à l'identification des solutions à développer au moment opportun et de permettre leur mise en œuvre.

Notre étude a été établie selon les recommandations du CEREMA Ouest dans son guide « Conseils pour la mise en œuvre de l'article L300-1 du Code l'Urbanisme » daté de juin 2017 et dont nous nous inspirons largement.

2. Orientations générales de l'étude

Les postes de consommation les plus stratégiques tels que le volume d'énergie consommée, la possibilité de substitution d'une énergie non renouvelable par une énergie renouvelable, ou l'amélioration de la mixité et du foisonnement, sont considérés avec soin dans notre étude.

Les types et systèmes d'énergies renouvelables et de récupération mobilisables à l'échelle de l'aménagement sont listés au sein de l'étude, sans a priori sur leur viabilité.

La possibilité de prendre en compte les quartiers limitrophes au sein de l'étude est également envisagée. L'intelligence environnementale et économique pouvant alors consister à choisir non pas une solution plus performante pour le quartier neuf, mais une solution qui pour un coût raisonnable desservirait également des quartiers anciens et permettrait ainsi une réduction des Gaz à Effet de Serre plus importante.

Les solutions proposées sont étudiées au regard des critères et des objectifs définis par le maître d'ouvrage de l'aménagement, sans tenir compte des intérêts économiques des opérateurs énergétiques.



3. Développement des ENR et maîtrise de l'énergie

Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et les consommations d'énergies non renouvelables, deux voies complémentaires doivent être combinées :

- La maîtrise de l'énergie, qui vise à réduire les consommations d'énergie ;
- Le développement des énergies renouvelables (et de récupération), qui vise à réduire la part relative des énergies non renouvelables dans le bouquet énergétique.

La maîtrise de l'énergie reste bien entendu une priorité qui doit également être traitée, comme le prévoient d'ailleurs d'autres dispositions réglementaires.

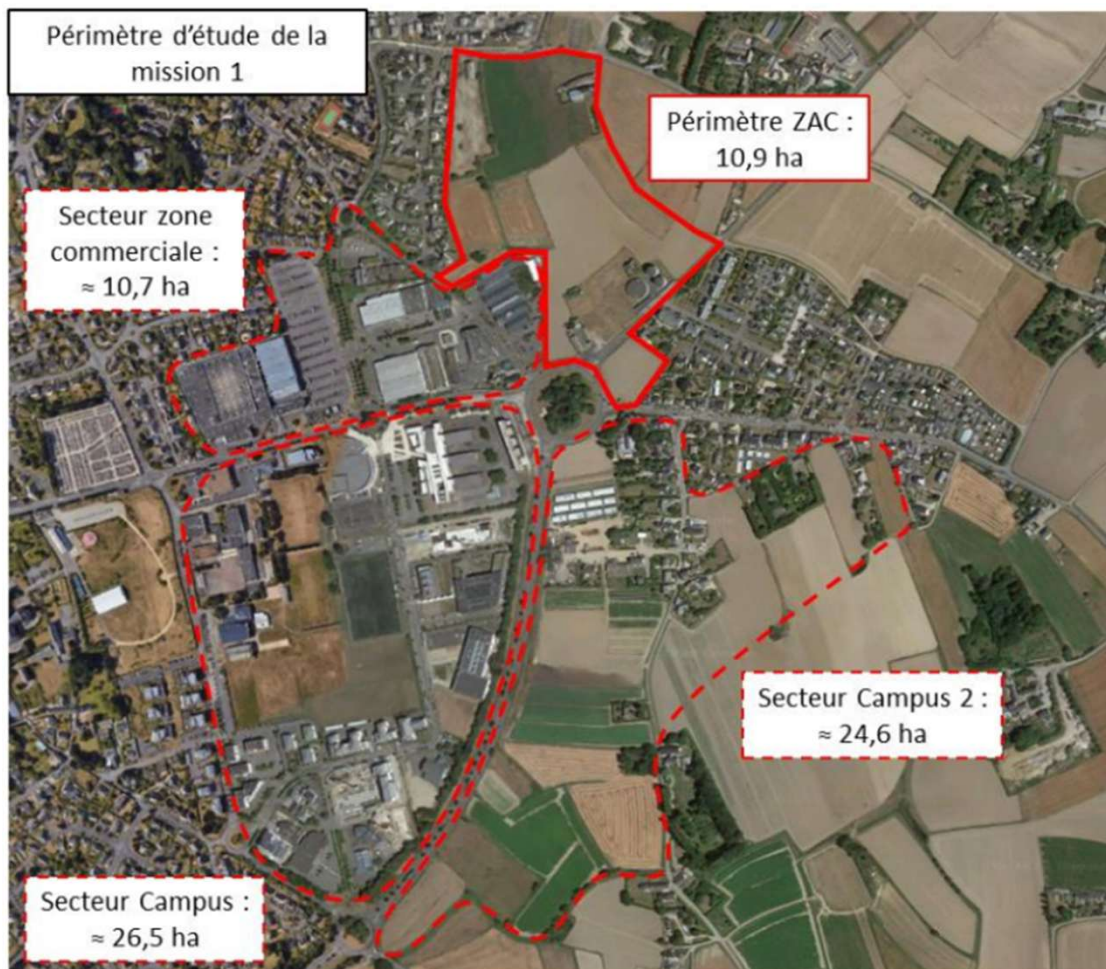
Dans le cadre de l'aménagement, celle-ci passe notamment par :

- Les réductions des consommations : maîtrise des besoins, efficacité, réduction des déperditions, inertie thermique (des constructions, des chaussées, des terrains...) ;
- La limitation de l'énergie grise comprise dans les aménagements et les constructions (les matériaux et leur mise en œuvre) ;
- Les enjeux urbains de localisation optimale, de mixité, de proximité des commerces, services, aménités urbaines, de qualité des itinéraires et des espaces publics, de densité, etc.

Dans une application stricte de la Loi, la maîtrise de l'énergie n'est pas traitée dans le cadre de l'article 300-1 du Code l'Urbanisme ; nous prenons toutefois le parti de ne pas dissocier ENR et maîtrise de l'énergie. Le premier sujet est ainsi traité dans le Volet 2 tandis que le second est évoqué dans le Volet 3.

ZAC LA HOUSSAYE

LE PROJET & SON CONTEXTE



1. Présentation de l'opération d'aménagement

L'opération se situe au sein de l'agglomération de Saint Malo (35).

L'étude se porte sur quatre ilots principaux:

- **La ZAC de la Houssaye:** Un projet de création de 315 logements, situé au Nord-Est du site
- Une **Zone commerciale existante** susceptible d'évoluer dans les années futures
- Une **Zone de campus existante** comprenant des panneaux photovoltaïques en toiture
- Une ambition de **nouvelle Zone de Campus**

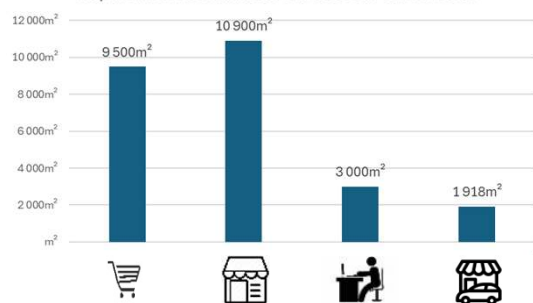
L'objectif de ce document est de réaliser une analyse des besoins énergétiques ainsi qu'une étude d'opportunité du potentiel d'approvisionnement.

Dans le cadre de son projet urbain, Saint Malo fait de ce quartier un axe prioritaire de développement. L'opération devra s'inscrire dans cette volonté de redynamisation, mettant en avant une ville attractive et accueillante.

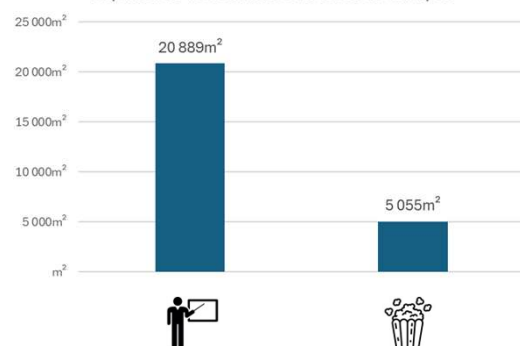
ZAC LA HOUSSAYE

LE PROJET & SON CONTEXTE

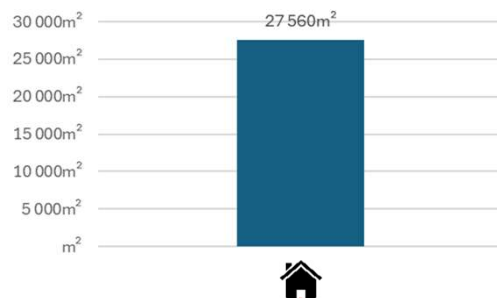
Répartition des surfaces du secteur commercial



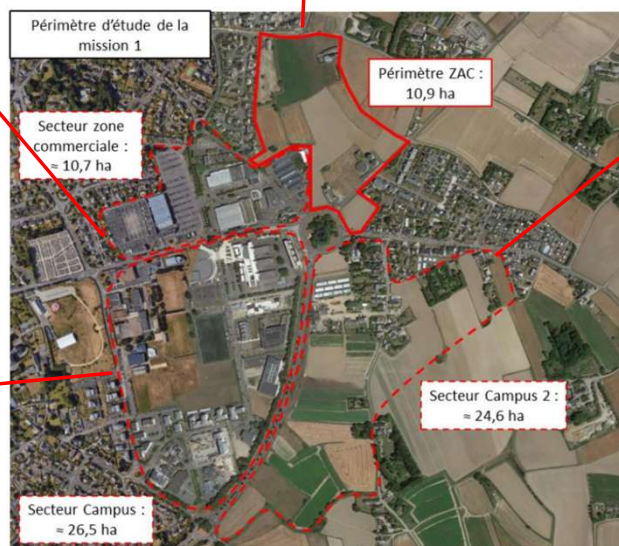
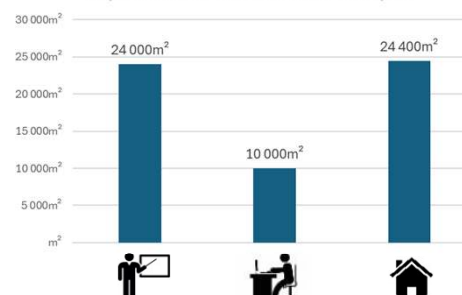
Répartition des surfaces du secteur Campus



SHAB de la ZAC de la Houssaye



Répartition des surfaces OAP Campus



1. Présentation de l'opération d'aménagement

Les 4 secteurs étudiés permettent de multiplier les usages :

Usage	ZAC	Commerce	Campus	OAP Campus
Logements	27 560 m²	-	-	24 400 m²
Commerces moyenne surface	-	10 900 m²	-	-
Bureaux	-	3000 m²	-	10 000 m²
Enseignement	-	-	20 889 m²	24 000 m²
Grandes Surfaces	-	9 500 m²	-	-
Drive	-	1918 m²	-	-
Cinéma	-	-	5 055 m²	-
Total	23 920 m²	25 318 m²	25 944 m²	58 400 m²

CONTEXTE & OBJECTIFS

ETUDE POUR LA DESERTE ENERGETIQUE

COMMUNE DE SAINT-MALO – ZAC LA HOUSSAYE

ZAC LA HOUSSAYE

LE PROJET & SON CONTEXTE

3. Quels objectifs pour l'Aménageur ?

Les choix réalisés dans le cadre d'un aménagement engageant sur plusieurs dizaines d'années, et ont des conséquences directes en matière d'énergie : le coût pour les usagers et la collectivité, l'impact sur le climat (émissions de gaz à effet de serre notamment) et sur l'environnement (qualité de l'air, impact paysager et sur la faune locale...).

Conscient de ces enjeux, la commune de Saint-Malo, aménageur de la zone, souhaite justifier ses choix par l'analyse objective que doit constituer la présente étude.

D'une part, du point de vue énergétique, quel que soit leur usage, tous les bâtiments devront être performants pour **limiter leurs besoins** et garantir le confort des occupants en hiver comme en été. Les techniques suivantes notamment seront ainsi mises en œuvre :

- **Compacité** des bâtiments pour limiter leurs déperditions de chaleur en hiver ;
- **Approche bioclimatique** : réflexion sur le positionnement des pièces, la quantité et les caractéristiques des menuiseries et des protections solaires, éclairage naturel optimisé, réflexion sur l'inertie des parois pour restituer de la fraîcheur en été ;
- **Isolation thermique renforcée** et **étanchéité à l'air performante** de l'enveloppe ;

De plus, le **recours à des énergies renouvelables locales**, dans la mesure du possible, ainsi qu'à des **systèmes efficaces**, permettant de limiter les consommations énergétiques des bâtiments, seront des pré-requis au projet.

Au regard du planning annoncé, l'ensemble de l'opération sera soumis à la **Réglementation Environnementale 2025 ou 2028**. Également, les choix constructifs et énergétiques seront guidés pour tendre vers le niveau **RE2031** dans la mesure du possible.

La présente étude apporte réponses et conseils pour atteindre ce niveau et le dépasser.

Du point de vue environnemental, les bâtiments devront respecter la stratégie bas-carbone suivante :

- Eviter les sources d'énergie au gaz et privilégier par ordre de préférence : le bois ; le réseau de chaleur urbain ; l'électricité (Effet Joule ou Pompe à Chaleur).
- Modes constructifs : **les modes constructifs décarbonés seront à privilégier** avec par exemple des solutions en mur à ossature bois (MOB), ou bien de la structure mixte bois/béton

Toujours dans une logique d'anticipation des objectifs futurs de la RE2020, les **niveaux RE2028 et RE2031 pourront être anticipés sur tout ou partie des ilots considérés**.

Cette étude d'approvisionnement énergétique a ainsi pour objectif de rechercher le mix énergétique le plus vertueux et exemplaire possible, tant du point de vue énergétique qu'environnemental, permettant de maximiser l'utilisation des ressources locales à coût maîtrisé, tant pour les maîtres d'ouvrage, que pour les utilisateurs finaux.



ZAC LA HOUSSAYE

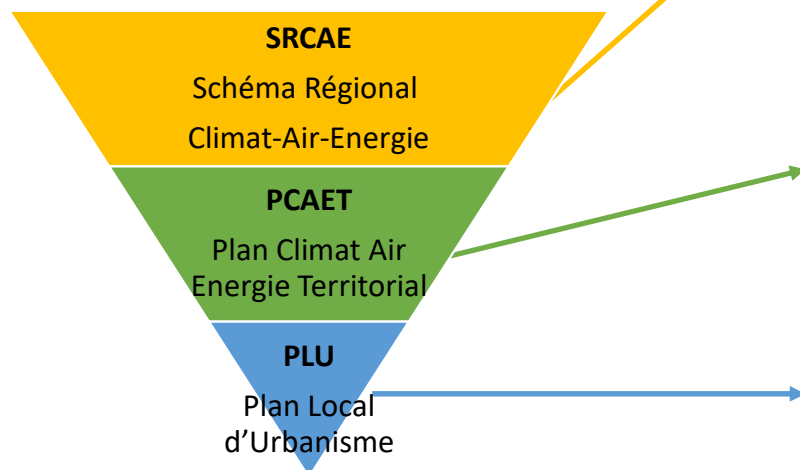
LE PROJET & SON CONTEXTE

4. Ambitions environnementales de la Collectivité

L'orientation du projet est encadrée par les directives du **Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE)** de la région Bretagne, ainsi que par le **Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET)** de la *Communauté d'Agglomération du Pays de Saint-Malo*. Ces documents, eux-mêmes définis par les **lois Grenelle 1 et 2** et complétés par la **Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte**, renforcent l'implication des collectivités territoriales et définissent les orientations en matière d'énergie, et particulièrement en termes d'énergies renouvelables.

De même, le **Plan Local d'Urbanisme** fixe des **règles d'urbanisme** et de construction afin d'assurer une cohérence territoriale. Il permet aussi d'encadrer rigoureusement les **projets urbains**, leurs styles architecturaux, leurs impacts sur l'environnement et sur le développement durable.

Ainsi, toute **étude d'approvisionnement énergétique** réalisée à l'échelle d'un aménagement doit, dès les premières réflexions, intégrer ce qui a été préalablement défini dans ces documents.



Contraintes et recommandations	Impacts potentiels sur nos Ilots
<u>Potentialités de développement des ENR :</u> Les tendances et projections révèlent un fort développement en particulier des ENR suivantes à l'horizon 2050 par rapport à 2020 : ➤ Eolien terrestre et offshore ➤ Solaire photovoltaïque ➤ Biogaz. Le solaire thermique et le bois-énergie enregistreraient quant à eux une légère augmentation. <u>Particularité du SRCAE :</u> Les pompes à chaleur ne sont pas considérées par la Région Bretagne comme des ENR, participant en effet à la fragilisation du réseau électrique.	Le développement du petit et moyen éolien est encouragé dans les projets de ZAC, et semble nécessiter une réflexion plus approfondie. La situation spécifique de la région Bretagne en matière de réseau électrique, amène à réfléchir au développement des productions électriques locales, ainsi qu'à la limitation de l'utilisation de l'énergie électrique pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.
<u>Objectifs :</u> ➤ -50% de consommation énergétique en 2050 ; ➤ 32% d'ENR dans le mix énergétique du territoire en 2030, et 100% vers 2050 ; ➤ -20% d'émissions de gaz à effet de serre en 2025, et -74% en 2050 ; ➤ Respecter les recommandations de l'OMS sur la qualité de l'air (COV, Nox, particules fines) ; ➤ Engager le territoire vers un chemin de décarbonisation	Encourage le choix d'une énergie la moins carbonée possible, avec un impact environnemental et sanitaire faible. Pas d'obligations sur la part d'ENR minimale de chaque Ilot, mais il semble important d'en maximiser le recours pour participer à l'effort territorial de transition énergétique. Réflexion à engager également sur la qualité sanitaire et l'impact environnemental des produits de construction. L'Analyse du Cycle de Vie demandée par la RE2020, permettra de valider ou non les recommandations de l'OMS et de fixer un objectif chiffré pour chaque ilot du projet.
<u>Impératifs :</u> ➤ En zone II AU (ZAC), les toitures-terrasses ne devront pas représenter en projection verticale plus de 25 % de l'emprise au sol des constructions.	Incidence potentielle sur la surface maximale de solaire photovoltaïque ou thermique.

1. Analyse des besoins

La première étape de l'étude consiste à identifier et à quantifier les différents besoins énergétiques des Ilots considérés : en chaud, en froid, et en électricité.

Selon les usages et la programmation des différents bâtiments, une estimation de ces besoins sera ainsi réalisée. Les variations journalières ou saisonnières des consommations énergétiques pourront également être analysées afin de les corrélérer avec le caractère intermittent de certaines énergies renouvelables.

De même, les interactions possibles entre bâtiments, voire entre quartiers, seront également étudiées afin de tendre vers un écosystème mettant en symbiose les flux entrants et sortants de matière et d'énergie.

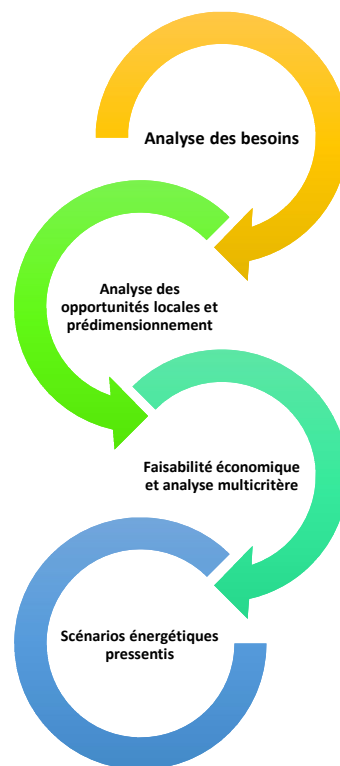
2. Analyse des opportunités locales et prédimensionnement

Nous passerons ensuite en revue les principales énergies renouvelables pour en analyser le potentiel vis-à-vis du projet.

A partir des données disponibles sur l'aménagement, de l'estimation des besoins en énergie, des gisements d'énergies renouvelables disponibles et des contraintes associées, nous croiserons l'ensemble de ces données afin de discerner une tendance plutôt favorable ou défavorable à la mise en œuvre de telles énergies renouvelables sur le projet.

Les opportunités financières (aides régionales, subventions) et organisationnelles (associations et organismes d'information) locales pourront également être recherchées.

Proposant des premiers dimensionnements techniques, cette seconde étape permettra de conclure quant aux solutions énergétiques à étudier de façon plus approfondie, et de justifier l'exclusion des autres pistes.



3. Faisabilité économique et analyse multicritères

A l'issue de l'analyse des potentialités en énergies renouvelables, nous étudierons les aspects techniques, économiques et environnementaux des solutions jugées pertinentes sur le projet :

- Faisabilité technique et contraintes d'exploitation ;
- Coûts d'investissement et d'exploitation, permettant un raisonnement en coût global ;
- Impacts environnementaux (émissions de gaz à effet de serre et de particules fines, impact sur la faune et la flore...) ;
- Impacts sur l'aménagement ou l'organisation spatiale du projet

Enfin, une analyse multicritère mettant en relation ces différents paramètres sera réalisée, permettant d'avoir un regard global sur chaque solution et de conforter ou non leur faisabilité. Cette étape doit permettre d'aider à l'identification de scénarios mobilisant une ou plusieurs énergies renouvelables, et présentant le meilleur compromis en termes de critères techniques, économiques et environnementaux.

4. Scénarios énergétiques pressentis

Suite à l'analyse multicritère, cette partie présentera des propositions de scénarios énergétiques à dominante renouvelable, et les comparera avec un scénario plus conventionnel.

Ces scénarios devront également respecter la réglementation en vigueur, ainsi que les objectifs choisis (RE 2025 avec objectifs 2028, 2031) pour l'ensemble des bâtiments considérés.

VOLET 02

OPPORTUNITES & FAISABILITE

I. OPPORTUNITES DU PROJET

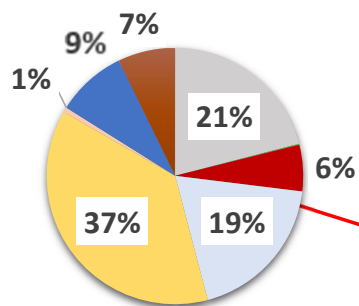
1. Evaluation des besoins en énergie, par usage
2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

II. FAISABILITE (Mission 2)

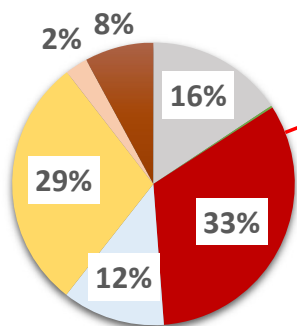
1. Présentation des scénarios pressentis
2. Examen approfondi des techniques privilégiées
3. Analyse multicritère

ZAC LA HOUSSAYE

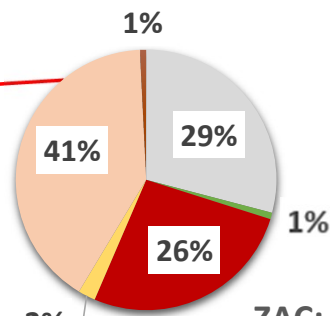
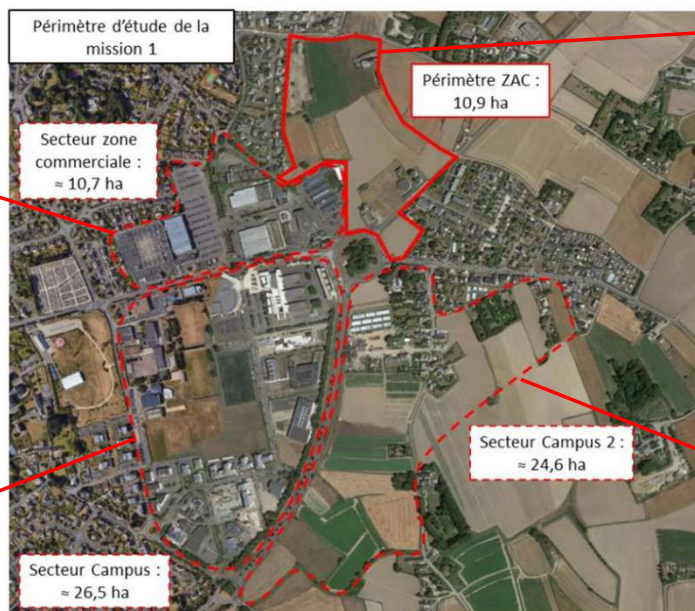
OPPORTUNITES DU PROJET



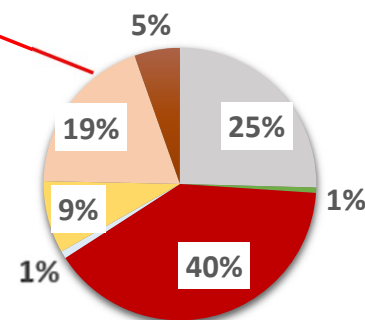
Secteur commercial



Secteur campus



ZAC:
La Houssaye



OAP campus

1. Evaluation des besoins en énergie, par usage

Sur la base de profil par usage, les consommations énergétiques par postes ont été reconstituées par ilot.

Les consommations spécifiques à des usages comme le **froid commercial**, ont également été prise en compte, sur la base des données fournies par l'ADEME, car dimensionnantes pour la suite de l'étude.

La consommation autres usages a été déterminée à partir des valeurs prises en compte dans le calcul du coefficient BEPOS, du **référentiel Energie Carbone**, et représente l'ensemble des consommations mobilière (multimédia, éclairage des communs ...).

Poste de consommation

Chauffage

Climatisation

Eau Chaude Sanitaire

Auxiliaire de ventilation

Auxiliaire de distribution

Eclairage

Froid commercial

Consommations électriques autres usages

ZAC LA HOUSSAYE

OPPORTUNITES DU PROJET

1. Evaluation des besoins par énergie

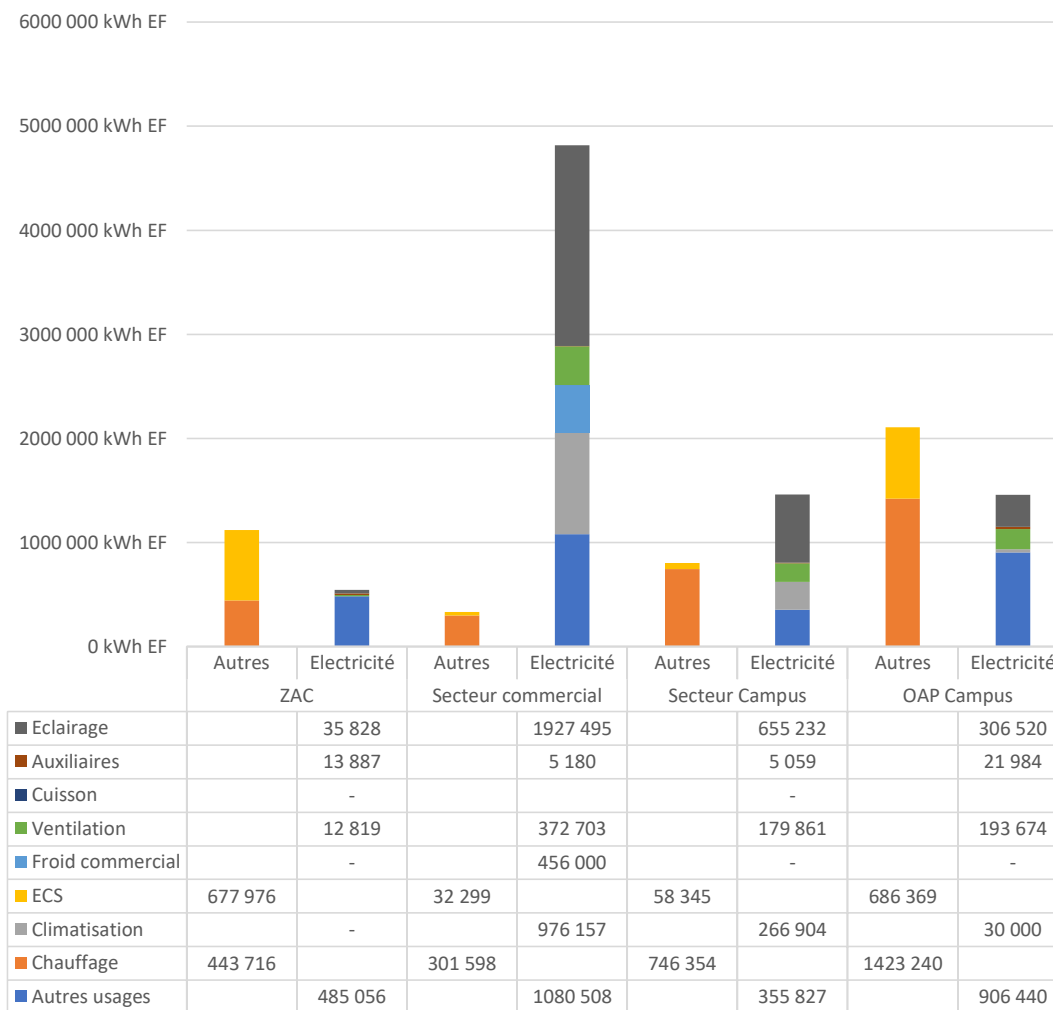
Deux grandes catégories se distinguent dans les besoins énergétiques, :

- Les postes où l'énergie électrique est indispensable (éclairage, climatisation, ventilation ..)
- Les postes où une énergie autre peut être utilisée (chauffage, eau chaude sanitaire)

Sur le secteur commercial, nous pouvons constater que les consommations d'électricité sont très importantes.

Sur les autres secteurs, les deux catégories sont du même ordre de grandeur.

L'un des objectifs de ce rapport est de proposer des moyens pour venir absorber ces besoins tout en limitant l'impact carbone des productions d'énergie nécessaire.



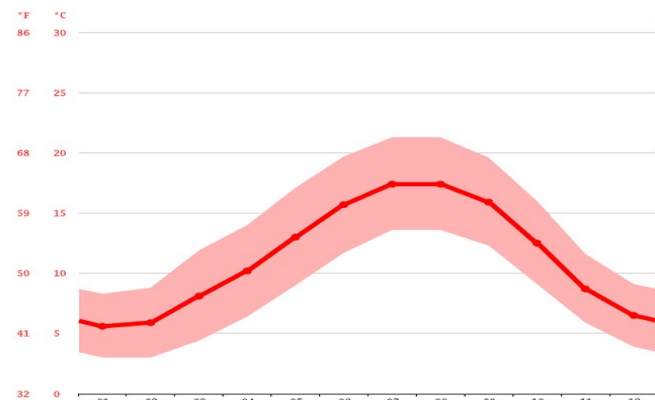
ZAC LA HOUSSAYE OPPORTUNITES DU PROJET

1. Evaluation des besoins par usage

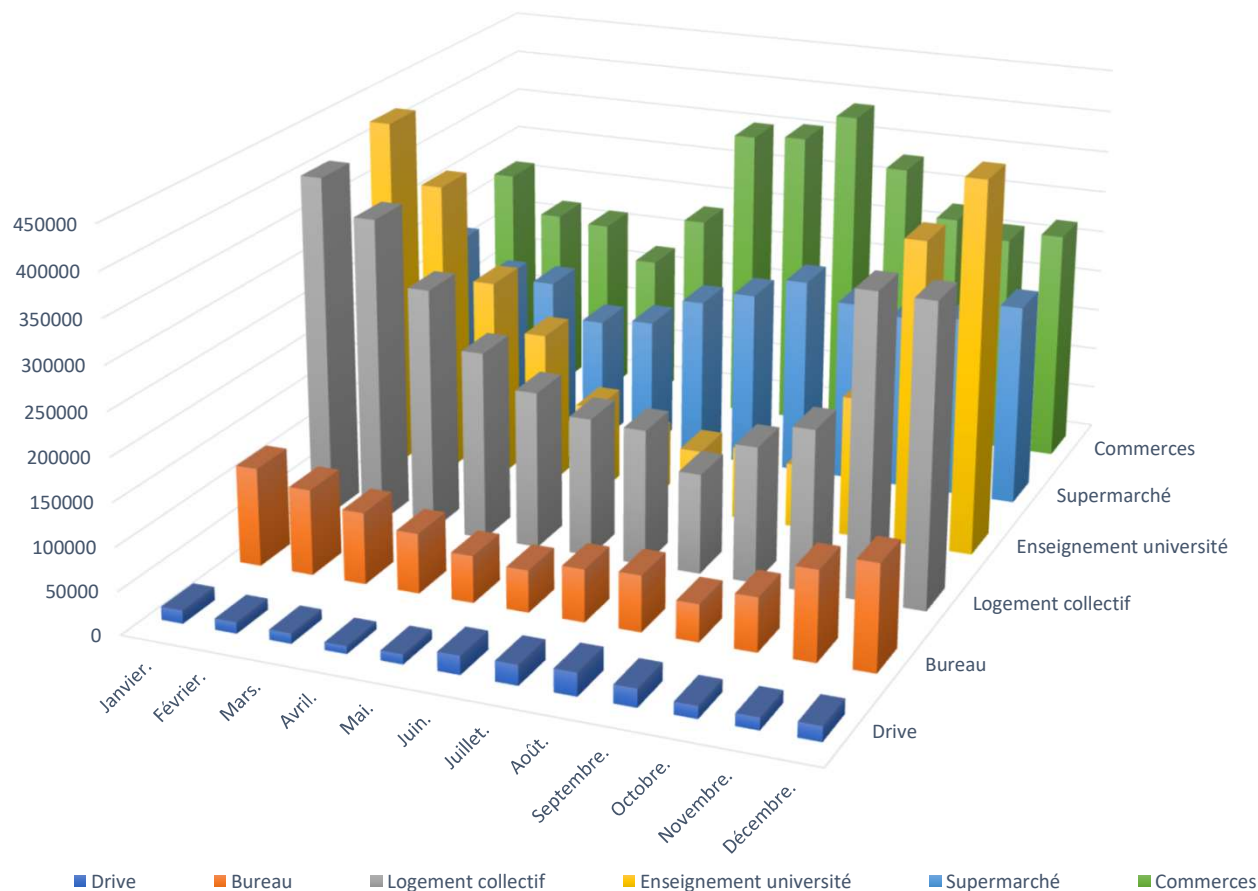
Sur l'ensemble de l'année les usages les plus consommateurs d'énergie, sont le logement collectif, le supermarché, les commerces et l'enseignement. En hiver les logements seront plus demandeurs d'énergie (plus de chauffage et plus d'éclairage), tandis qu'en été, les besoins en froid du supermarché et la diminution des besoins pour les autres usages, feront passer l'usage de supermarché en tête des usages les plus consommateurs.

L'analyse annuelle des besoins permet également de mettre en évidence, une demande plus forte en hiver qu'en été, résultante d'un climat local favorable, notamment en été.

En effet, comme le montre la courbe ci-dessous, les températures moyennes à Saint-Malo varient très peu tout au long de l'année entre 5 et 22 °C. Pour appuyer ce constat, le nombre de jour au-dessus de 25°C puis 30°C est également un indicateur. Seulement 15 jours au-dessus de 25°C en août 2003 (année de la canicule), dont 4 jours au-dessus de 30°C



Evolution des températures moyennes 1982 -2012



Evolution des besoins énergétiques en fonction des usages sur une année type

ZAC LA HOUSSAYE OPPORTUNITES DU PROJET

2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

2.1 Energies renouvelables et de récupération : définition

Selon l'article L300-1 du Code de l'urbanisme, l'étude doit porter sur le « potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone » ; cependant, pour les réseaux de chaleur et de froid, outre les énergies renouvelables, les énergies de récupération sont également à prendre en compte.

Sont considérées comme **énergies renouvelables**, les sources d'énergie prévues par l'article L211-2 de code de l'énergie :

« Les sources d'énergies renouvelables sont les énergies éolienne, solaire, géothermique, aérothermique, hydrothermique, marine et hydraulique, ainsi que l'énergie issue de la biomasse, du gaz de décharge, du gaz de stations d'épuration d'eaux usées et du biogaz. La biomasse est la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers ».

L'article R712-1 du code de l'énergie définit les **énergies de récupération** comme : la fraction non biodégradable des déchets ménagers ou assimilés, des déchets des collectivités, des déchets industriels, des résidus de papeterie et de raffinerie, les gaz de récupération (mines, cokerie, haut fourneau, aciérie et gaz fatals) et la récupération de chaleur sur eaux usées ou de chaleur fatale à l'exclusion de la chaleur produite par une installation de cogénération pour la part issue d'énergie fossile.

Le tableau suivant présente, pour chaque source d'énergie renouvelable ou de récupération, les principaux systèmes permettant de mobiliser cette source, l'usage après conversion (chaleur, électricité, froid) ainsi que l'échelle la plus courante pour la mise en place des systèmes considérés.

Les couleurs donnent une indication sur la probabilité d'existence de marges de manœuvre à l'échelle de l'aménagement :

- vert : probable ;
- jaune : possible ;
- orange : peu probable.

ENERGIES RENOUVELABLES	UTILISATION	SYSTÈME ET ÉCHELLE DE MISE EN ŒUVRE	
 Éolien		Petit éolien	Bâtiment / Quartier
		Grand éolien	> Ville
 Solaire thermique		Panneaux solaires thermiques (indépendants).	Bâtiment
		Ensemble de panneaux solaires thermiques (rassemblés en un site ou diffus sur plusieurs bâtiments), avec réseau de chaleur.	Quartier
 Solaire photovoltaïque		Panneaux solaires photovoltaïques (indépendants).	Bâtiment
		Ferme solaire photovoltaïque.	Quartier / Ville
 Géothermie	 	Géothermie superficielle avec pompe à chaleur.	Bâtiment
		Géothermie superficielle avec pompe à chaleur sur réseau de chaleur et de froid ou boucle d'eau tempérée.	Quartier
		Géothermie sur sondes (éventuellement avec réseau de chaleur basse température ou boucle d'eau tempérée).	Bâtiment / Quartier
		Géothermie profonde (avec réseau de chaleur / froid).	Ville
 Aérothermie		Pompe à chaleur	Bâtiment
 Hydrothermie		Réseau de chaleur / froid et pompe à chaleur.	Quartier / Ville
 Energies marines		Hydroliennes, usine marémotrice, usine houlomotrice...	> Ville
 Hydraulique		Petit hydraulique	Quartier / Ville
		Grand hydraulique	> Ville
 Bois	 	Chaudière bois individuelle ou d'immeuble (avec ou sans cogénération).	Bâtiment
		Chaudière bois collective	Quartier / Ville
 Biogaz		Injection dans le réseau de distribution de gaz.	> Ville
		Combustion sur lieu de production.	Bâtiment
		Chaudière gaz collective (avec ou sans cogénération), avec réseau de chaleur.	Quartier / Ville
 Chaleur fatale de l'incinération des déchets		 	Turbine électrique et/ou chaleur distribuée par un réseau.
 Chaleur fatale des industries	Turbine électrique et/ou chaleur distribuée par un réseau.		Quartier / Ville
 Chaleur des eaux usées		Système de récupération (échangeur) et pompe à chaleur.	Bâtiment
		Système de récupération (échangeur), réseau de chaleur basse température et PAC.	Quartier

ZAC LA HOUSSAYE OPPORTUNITES DU PROJET

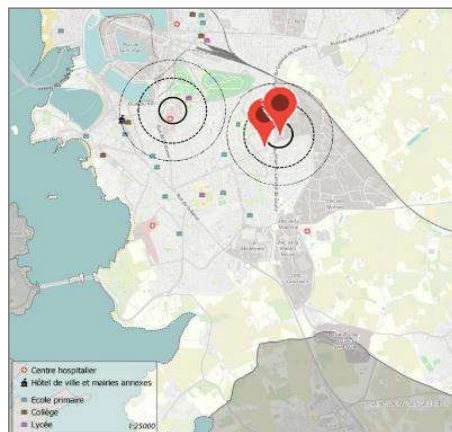
2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

2.2 Réseau de chaleur

- A l'échelle urbaine :

La ville de Saint-Malo compte actuellement deux mini-réseaux de chaleur communaux à Paramé (589 MWh) et à Bellevue (350 MWh), alimentant des écoles, des salles de sports et des bâtiments associatifs, mais ne permettant cependant pas un raccordement extérieur. La ville, à travers son PCAET, encourage cependant la création de réseaux de chaleur structurants.

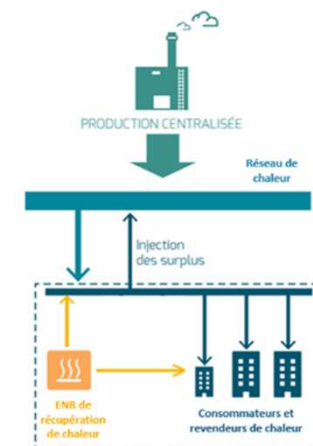
Une étude pour la création d'un réseau de chaleur urbain à l'échelle de la ville ayant été votée (voir carte ci-dessous), la deuxième solution envisageable est de venir raccorder La ZAC de la Houssaye au futur réseau de chaleur de la ville au moyen de sous-stations principales et secondaires.



Plan des secteurs préférentiels pour le développement d'un réseau de chaleur biomasse, déterminés en fonction de la densité des besoins des quartiers.

Dans l'hypothèse d'un réseau de chaleur, ce réseau permettrait d'alimenter les plots de logements en chauffage et en eau chaude sanitaire. De plus, en cas de production complémentaire de chaleur sur site (via de la récupération de chaleur sur des groupes froids ou sur les eaux usées par exemple), il serait possible soit de l'utiliser directement, soit de la revendre en l'injectant sur le réseau de chaleur urbain en cas de besoin identifié dans les quartiers alentours. C'est ce que l'on appelle un réseau intelligent, ou smartgrid, et qui concerne ici le réseau de chaleur.

Un smartgrid a l'avantage de participer à la résilience des territoires en décentralisant et en multipliant les points de production d'énergie, tout en créant des interconnexions entre ses différents acteurs afin d'assurer un approvisionnement énergétique même en cas de panne ou de difficulté technique sur le réseau.



Fonctionnement d'un réseau smartgrid

La solution de micro réseau de chaleur urbain est conservée pour la suite de l'étude

ZAC LA HOUSSAYE

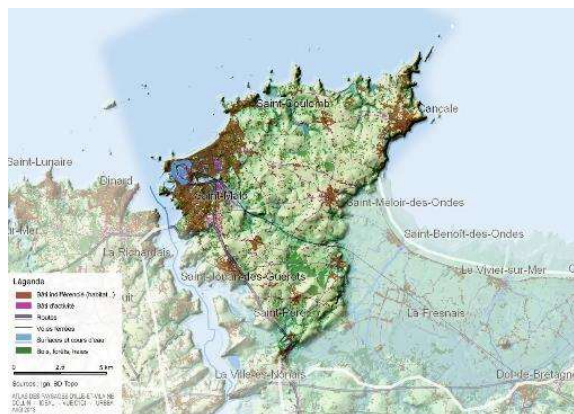
OPPORTUNITES DU PROJET

2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

2.3 Bois énergie

Le bois-énergie représente actuellement 98% de la production d'ENR de l'agglomération malouine (source : PCAET).

Le Pays de Saint-Malo a récemment mené une étude d'opportunité sur le bois-énergie, dont la ressource se situe principalement au niveau bocager et forestier. Le gisement actuel est estimé à près de 12 000 T/an de bois, soit la fourniture de 36 GWh annuels de chaleur, représentant environ la consommation annuelle de 2400 foyers moyens (sur la base d'un bâtiment en classe énergétique classe D, consommant 15 MWh/an pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire). De plus, la plantation de plus de 40 km de bocage supplémentaires a été validée par Saint-Malo Agglomération en 2018.



Carte illustrant les zones forestières et bocagères à proximité de Saint-Malo

De plus, la réglementation RE2020, est très favorable au bois-énergie : avec un coefficient de conversion entre l'énergie primaire et finale de 1, toute production de chauffage ou d'eau chaude sanitaire issue du bois-énergie est ainsi considérée comme 100% renouvelable et n'apparaît pas dans le bilan énergétique de l'ouvrage.

A noter que cette solution est compatible avec la création d'un mini-réseau de chaleur à l'échelle de nos Ilots, ainsi qu'avec le raccordement et la participation à l'approvisionnement énergétique d'un futur réseau de chaleur à l'échelle de la Ville (voir paragraphe concernant le réseau de chaleur urbain).

ZAC LA HOUSSAYE OPPORTUNITES DU PROJET

Nous sommes partis sur l'hypothèse de **chaudières à bois déchiqueté** disposées en cascade, avec un **approvisionnement par camions-citernes**, en vrac, directement dans des **silos de stockage**. Cette solution est plus économique et moins contraignante qu'une chaudière à bûches, notamment parce qu'elle permet une alimentation automatique de la chaudière tant qu'il reste dans le silo.

Les silos de stockage doivent cependant posséder un accès (trappe) par la rue pour les camions d'approvisionnement, tout en étant à proximité des chaufferies. De plus, au vu des besoins énergétiques du projet, et pour pallier le risque lié à un éventuel manque d'approvisionnement en bois-énergie, nous devons également prévoir des **chaudières gaz à condensation de secours** pour chaque chaufferie. Enfin, une sous-station sera prévue sur chaque plot afin d'optimiser la distribution de la chaleur et de limiter les pertes thermiques.

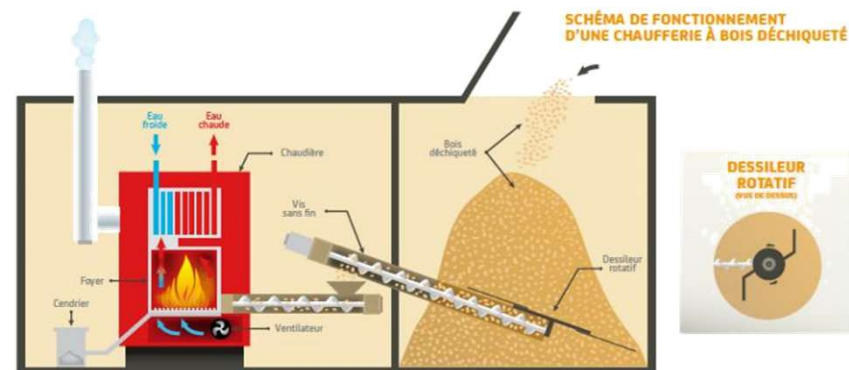
Un prédimensionnement de la puissance des chaudières bois de chaque chaufferie, ainsi que la puissance de chaque sous-station a été réalisé sur la base d'hypothèses identiques à la solution réseau de chaleur.

Autres hypothèses :

- Rendement chaudières bois : 90%
- Pouvoir calorifique moyen du bois déchiqueté : 3 000 kWh/T
- Chargement moyen d'un camion : 25 Tonnes
- Silos de stockage sur-mesure : hypothèse d'une hauteur sous-dalle de 2,5 m
- 1 Tonne de bois déchiqueté représente un volume de 1,5 m³
- Autonomie du silo : 2 mois



Chaudières de 850 kW et de 275 kW



ZAC La Houssaye	
Puissance totale (kW)	714
Consommation énergétique annuelle totale (MWh/an)	584
Dont chauffage (MWh/an)	231
Dont ECS (MWh/an)	353
Nombre annuel de tonnes de plaquettes consommées (en T/an)	216
Dont ECS	131
Dont Chauffage	85
Capacité du silo (tonnes)	50
NR – nombre annuel de rotations	4
Dont saison de chauffe	3
Dont hors saison de chauffe	1
Volume du Silo (m3)	33
Surface du silo (h = 2,5 m) (m²)	17
Proposition de configuration	Chaudière gaz 160 kW 1 chaudière bois de 275 kW 2 chaudières bois de 180 kW

Le bois-énergie est conservé pour la suite de l'étude

ZAC LA HOUSSAYE OPPORTUNITES DU PROJET

2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

2.4 Récupération d'énergie sur les groupes froid de process

La multiplicité des usages de l'opération amène à réfléchir aux interactions possibles entre ses différents secteurs. Le besoin constant de froid positif ou négatif pour le supermarché amène une source tout aussi constante de chaleur récupérable.

Les machines thermodynamiques utilisées pour produire le froid fonctionnent selon le cycle de Carnot, et génèrent des dégagements d'énergie à chaque changement de phase.

L'idée est donc de venir récupérer les calories par l'intermédiaire d'un désurchauffeur au moment de la compression, lors du passage de l'état gazeux à l'état liquide (15 à 20% d'énergie récupérable), mais également sur la partie condensation, en venant piocher les calories du fluide frigorigène tout juste réchauffé par les frigories relâchées à l'évaporateur.

A ce stade un volume important d'eau chaude sanitaire ou d'eau de chauffage peut être réchauffé. De plus, le condenseur à air sera moins sollicité, et consommera donc moins d'énergie.

La chaleur récupérée pourra servir à produire :

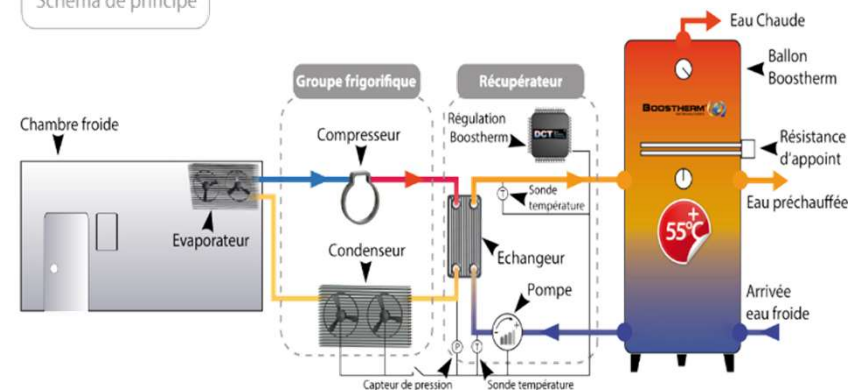
- l'eau chaude sanitaire pour les logements,
- L'eau de chauffage.

Dans le cas d'un raccordement au réseau de chaleur urbain, l'excédent de chaleur pourrait également être réinjecté sur ce réseau.

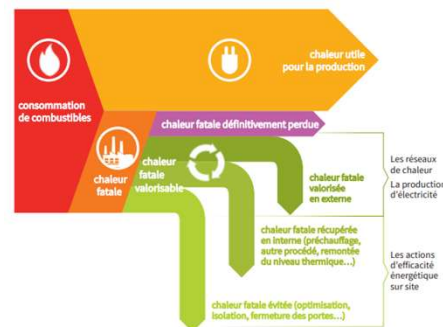
Avantages de la solution :

- Economies d'énergie (si réutilisation locale) ou revenus complémentaires si vente de la chaleur
- Réduction de la consommation d'énergie primaire
- Réduction des émissions de CO2
- Amélioration de l'efficacité énergétique du système frigorifique
- Retour sur investissement rapide
- Flexibilité d'utilisation : chauffage, eau chaude sanitaire, réseau de chaleur urbain...

Schéma de principe



Principe de la récupération d'énergie sur une chambre froide



Exemple d'un échangeur (récupérateur) raccordé sur un ballon tampon

La récupération d'énergie sur groupe froid est retenue pour la suite de l'étude

ZAC LA HOUSSAYE OPPORTUNITES DU PROJET

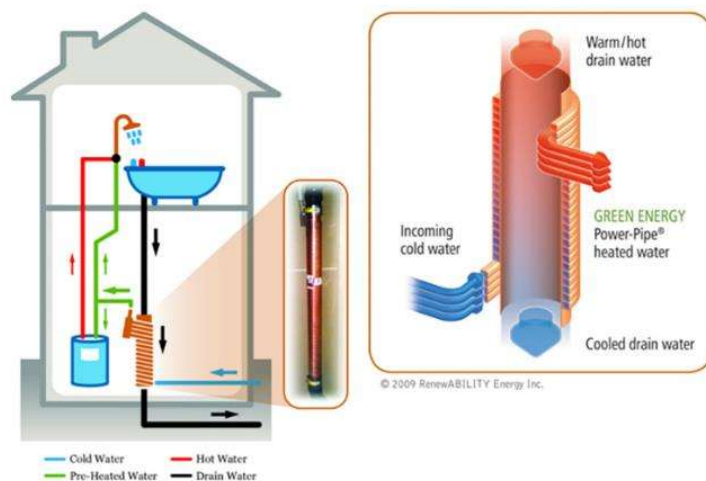
2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

2.5 Récupération de chaleur sur les eaux usées

- De manière passive

Ce système consiste à venir placer un enroulement de cuivre contenant un fluide caloporteur autour de chaque colonne d'eaux usées. Le fluide se réchauffe et vient ensuite échanger sa chaleur dans l'un des ballons de stockage d'eau chaude sanitaire, permettant ainsi d'économiser de l'énergie sur le préchauffage de l'eau chaude sanitaire.

Toutefois, cette solution nécessite une distance la plus réduite possible entre les enroulements de cuivre et le ou les ballons de stockage, et ne permet qu'un gain énergétique optimal de 5 à 6 kWh/m² pour chaque bâtiment.



- De manière active

Ce système consiste à venir placer stocker les eaux usées encore chaudes dans un volume de stockage qui servira de source de chaleur à une pompe à chaleur (PAC).

L'intérêt de cette solution est dans le coefficient de performance atteignable par les PAC, qui peut monter jusqu'à 7.

Toutefois, cette solution nécessite des locaux techniques importants.

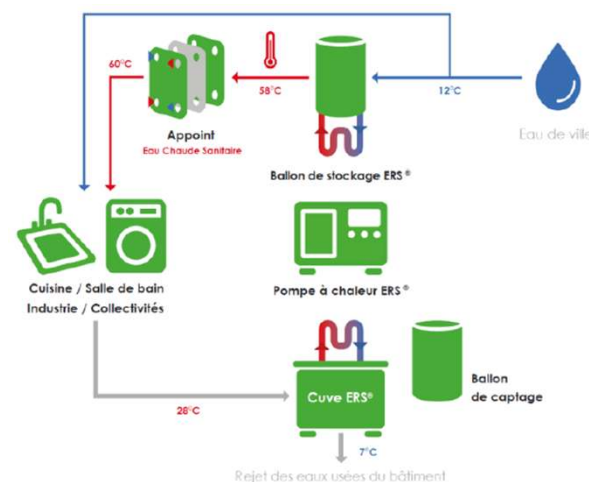


Figure 1 - Schéma du système ERS de BIOFLUIDES

La récupération de chaleur sur eaux usées n'est pas retenue pour la suite de l'étude

ZAC LA HOUSSAYE OPPORTUNITES DU PROJET

2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

2.6 Solaire photovoltaïque

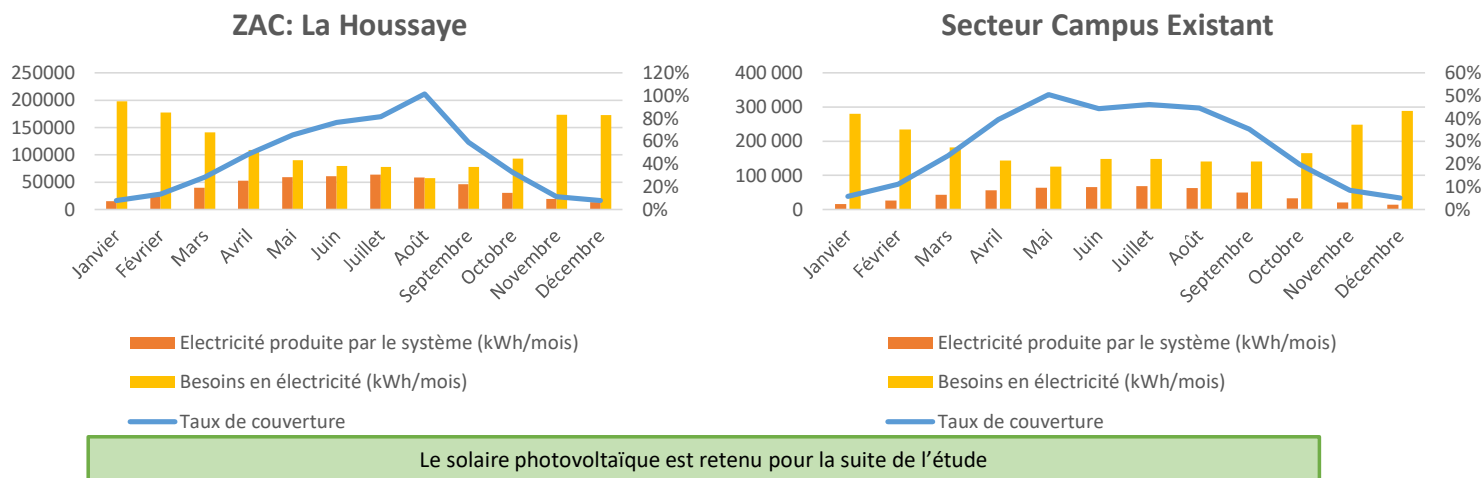
Le solaire photovoltaïque est une énergie renouvelable incontournable. De nos jours, les capteurs existent sous de nombreuses formes et peuvent s'intégrer à tout projet architectural : disposés à même le sol ou intégrés en toiture, voire parfois rapportés en façade, tantôt foncés ou colorés, opaques ou semi-transparents, rigides ou flexibles... Leur rendement en est néanmoins toujours influencé.

Au vu de l'envergure et de la diversité des besoins énergétiques du projet, nous pourrions imaginer mettre en place des panneaux solaires photovoltaïques sur une partie des toitures, avec une double utilité :

- **L'autoconsommation de l'électricité produite toute l'année** (avec ou sans batteries), permettant de couvrir une partie des besoins en électricité, et de réaliser des économies financières à moyen terme. En été, le préchauffage de l'eau chaude sanitaire collective pourrait également être assuré en journée par une résistance électrique alimentée par ces mêmes panneaux.
- **La revente du surplus d'électricité au réseau**, assurant des revenus supplémentaires et participant à la valorisation du mix énergétique local tout en développant le système de smartgrid électrique.



Eco-quartier La Fleuriaye à Carquefou, avec 8 000m² de panneaux en autoconsommation collective (logements + bâtiments tertiaires). On remarque la répartition en 1/3 – 2/3 des pans de toiture pour maximiser la surface exposée sud.



Protections extérieures solaires photovoltaïques

ZAC LA HOUSSAYE OPPORTUNITES DU PROJET

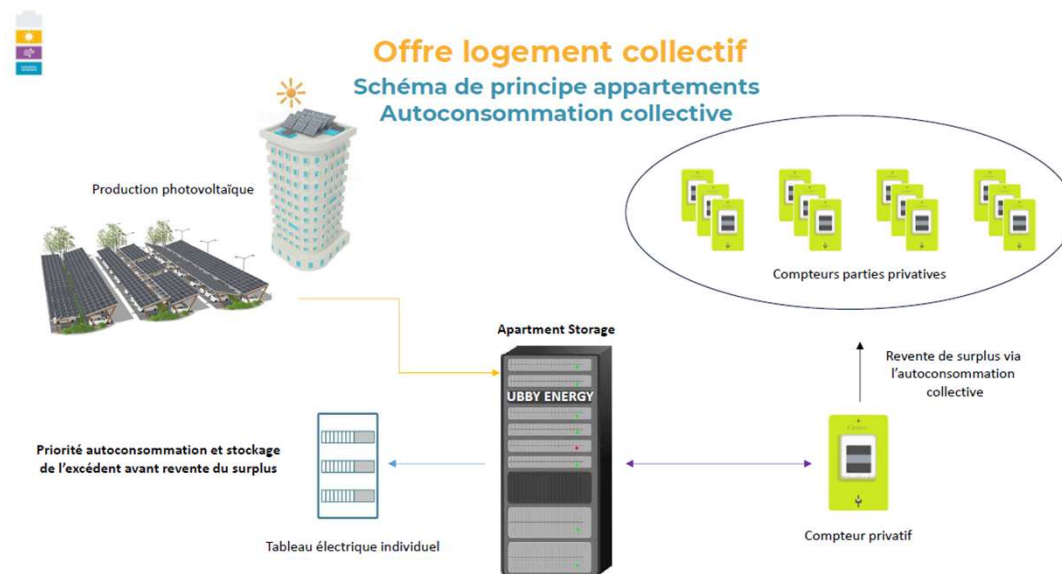
2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

2.6 Solaire photovoltaïque

La consommation électrique des parties communes des logements collectifs est principalement concentrée le matin et le soir, bien souvent en dehors des périodes de production solaire. Il y a donc un déphasage entre la production et la consommation.

Pour répondre à cette problématique, il existe une solution de centrale photovoltaïque en toiture et/ou ombrières, couplée à un système intelligent de stockage et gestion de l'énergie dédié aux parties communes des immeubles de logements collectifs.

En fonction des choix, l'excédent de production solaire peut soit être revendu par le biais d'un contrat de revente de surplus avec EDF OA, soit être refacturé par la mise en place d'un contrat d'autoconsommation collective. L'excédent peut également être utilisé en mettant en place un réseau de bornes de recharges pour véhicules électriques, ou encore en pilotant la production d'eau chaude. Ces solutions permettent de valoriser au mieux les KWh de production photovoltaïque.



*Solution d'autoconsommation et de stockage solaire adapté pour les logements collectifs et individuels
Home Storage UBBY*



Ombrière photovoltaïque avec structure bois

ZAC LA HOUSSAYE OPPORTUNITES DU PROJET

2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

2.7 Solaire thermique

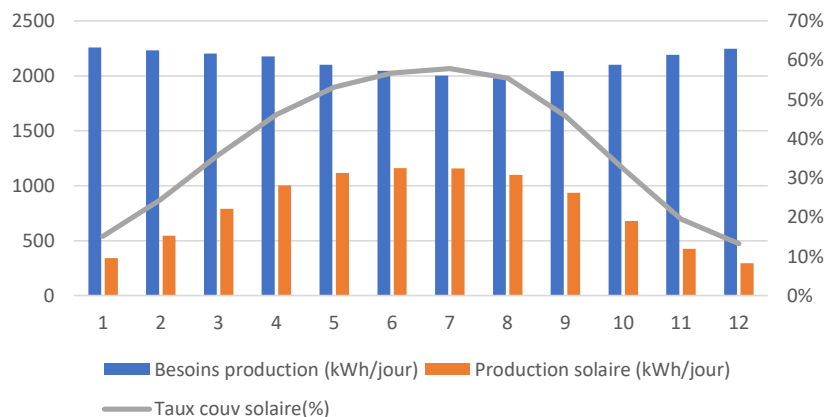
L'énergie solaire thermique peut également être envisagée sur ce projet. Permettant la conversion du rayonnement solaire en énergie calorifique, il conviendra dans ce cas de privilégier les capteurs plans de type « vitrés ». Ce modèle, le plus répandu et le plus efficace sous nos latitudes, est constitué d'une caisse isolante recouverte par un vitrage, dans laquelle le fluide caloporteur (circuit primaire) circule dans un serpentin en cuivre et se réchauffe progressivement par effet de serre.

Grâce à un échangeur thermique, le circuit primaire peut ensuite transmettre ses calories à de l'eau, utilisée soit pour la production d'eau chaude sanitaire, soit pour le chauffage des locaux.

Dans notre cas, nous pourrions imaginer équiper une partie des toitures de tels capteurs, pour permettre le préchauffage des ballons de stockage d'eau chaude sanitaire collectifs.

Nota : les surfaces de capteurs solaires viennent concurrencer les panneaux photovoltaïques. Il conviendra de trouver le point d'équilibre.

ZAC: La Houssaye



ZAC LA HOUSSAYE

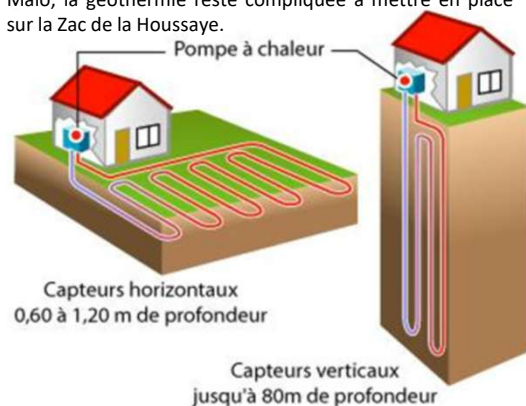
2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

2.8 La géothermie

- Profonde (à partir de 200m) :
La région ne dispose pas de ressource pour le développement de la géothermie profonde.

- De surface :
En Bretagne, les nappes souterraines présentant une température inférieure à 30°C, seule la géothermie de surface, aussi dite « à très basse énergie », couplée à l'utilisation de pompe à chaleur (PAC) à air ou à eau, est potentiellement exploitable. Néanmoins, nécessitant un approvisionnement électrique, les PAC **n'ont pas été considérées comme des solutions relevant des énergies renouvelables** d'après le SRCAE de la région Bretagne.

Bien que la solution ait été retenue sur d'autres projets comme le pôle culturel « la Grande Passerelle » à Saint-Malo, la géothermie reste compliquée à mettre en place sur la Zac de la Houssaye.



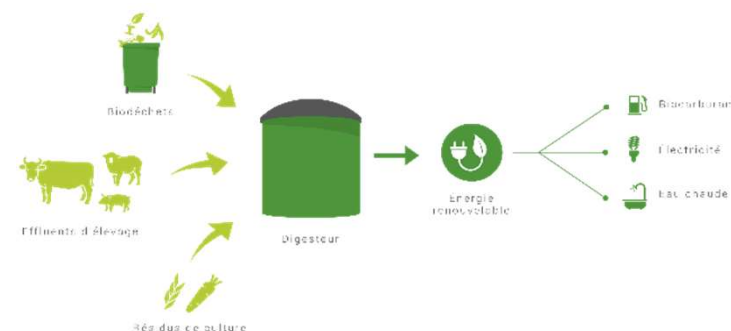
2.11 Méthanisation et biogaz

La méthanisation est basée sur la dégradation de la matière organique par des micro-organismes en l'absence d'oxygène, permettant d'obtenir un digestat et du biogaz. Les secteurs agricoles, industriels, le traitement des déchets ménagers et la gestion des boues d'assainissement sont les plus favorables au développement de cette technique, qui est intéressante puisqu'elle permet un triple bénéfice de valorisation : organique, thermique et électrique.

La combustion du biogaz est réalisée dans une chaudière sur le lieu même de l'exploitation de méthanisation. Ce biogaz peut ensuite soit être injecté dans le réseau de distribution de gaz, soit être directement utilisé sur place.

L'ajout d'une turbine permet alors de profiter d'une production électrique supplémentaire par la cogénération. Enfin, la matière organique restante en fin de processus peut être réutilisée en compost sur place, ou revendue à des agriculteurs locaux.

Actuellement, aucune usine de méthanisation n'existe sur l'agglomération malouine, malgré un fort potentiel de développement. A l'échelle de nos Ilots, il reste difficile de conclure sur l'existence d'un potentiel suffisant pour assurer une viabilité économique et l'autosuffisance énergétique. De plus, un tel processus reste très technique et nécessite des aménagements et un accompagnement important.



La géothermie, et la méthanisation sur site n'ont pas été retenus pour la suite de l'étude.

ZAC LA HOUSSAYE

2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

2.10 Récupération d'énergie issue des biodéchets (biogaz)

La loi n°2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire impose aux ménages, depuis le 1^{er} janvier 2024, de trier leurs déchets biodégradables et les séparer du verre, des emballages ou du reste de la poubelle indifférenciée, selon l'article L541-21-1 du code de l'Environnement.

L'objectif est de valoriser, sous forme de combustible (méthanisation), ces biodéchets constitués pour l'essentiel d'épluchures, produits de cuisine et restes de repas, au lieu de les enfouir ou de les brûler. Ceci afin de réduire la production de gaz à effet de serre.

Estimation du potentiel à l'échelle de la ZAC de La Houssaye :

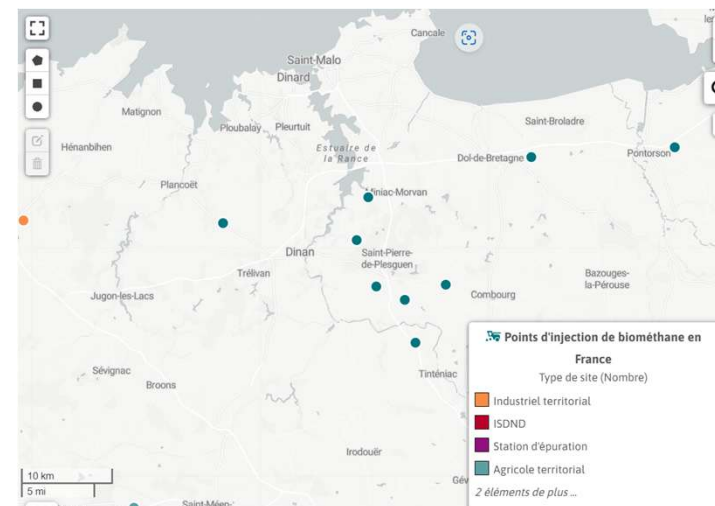
315 logements abritant en moyenne 2,2 habitants soit un total de 690 habitants

37 kg/habitant/an de biodéchets (source ADEME) soit 25,5 t

756 kWh PCI par tonne de déchets alimentaires soit **une production estimée à 19,3 MWh par an**

Sans couvrir l'intégralité des besoins de gaz, la récupération de l'énergie issue des biodéchets peut augmenter la part d'EnR dans les sources d'approvisionnement.

Les échanges avec GRDF ont permis de vérifier que des méthaniseurs étaient présents dans un rayon de 35 km.



Odre.opendatasoft.com

La méthanisation des déchets alimentaires produits dans la ZAC est retenue pour la suite de l'étude

ZAC LA HOUSSAYE

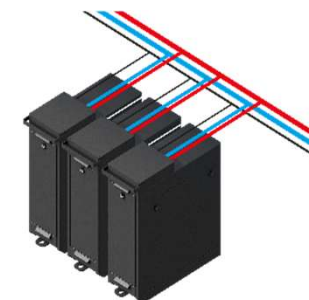
2. Evaluation du potentiel d'ENR disponible localement et prédimensionnement

2.9 Récupération d'énergie fatale des calculs informatiques

Pour chauffer les bâtiments, ou bien l'eau chaude sanitaire utilisée dans ceux-ci, il est également possible de venir récupérer la chaleur dégagée par les micro-processeurs positionnés au plus près des besoins en chaleur, soit :

- Par l'intermédiaire de radiateurs, qui sont en réalité des unités de calcul informatique dégageant de la chaleur en fonction des besoins,
- Par l'intermédiaire de chaudière numérique, venant réchauffer l'eau primaire nécessaire au chauffage et/ou à l'eau chaude sanitaire.

D'un point de vue économique, le montage proposé est le suivant, la société mettant à disposition les unités de calcul couvre l'ensemble des frais liés au fonctionnement des unités de calcul (fourniture d'énergie, fourniture d'accès à internet, maintenance des installations). L'utilisateur final du logement aura donc aucun frais de chauffage et/ou d'ECS.



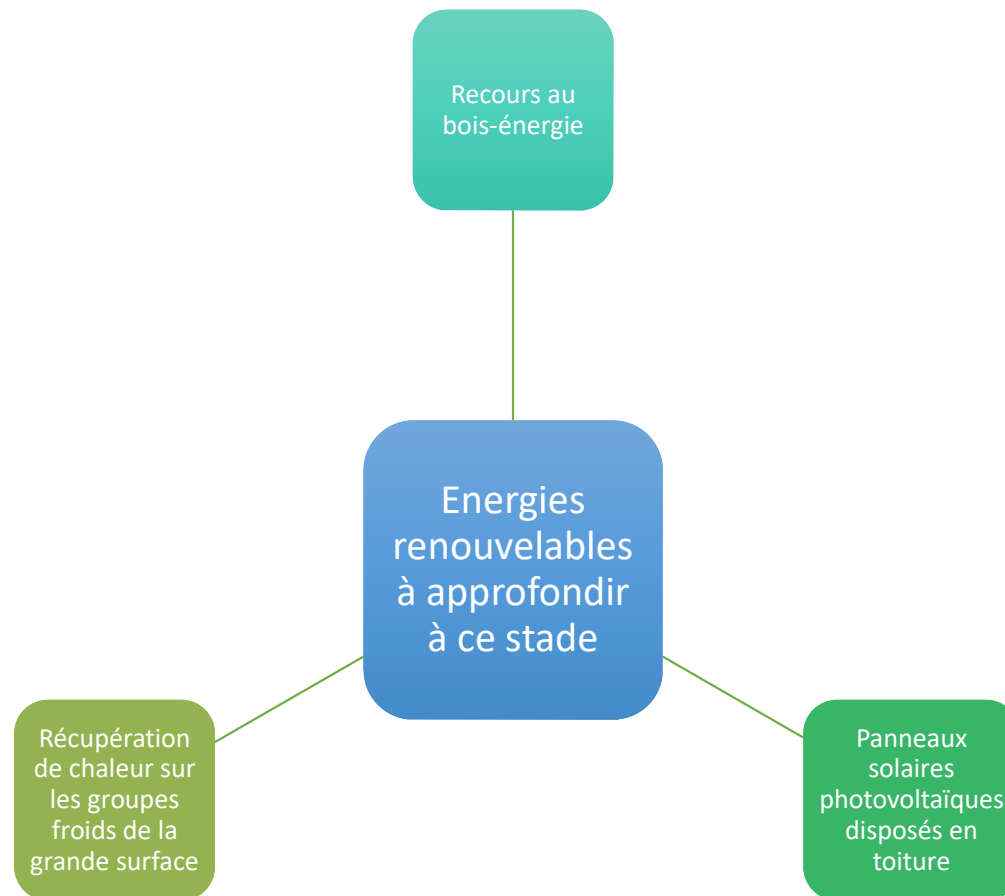
Chaudières numériques permettant le préchauffage de l'eau chaude sanitaire



Radiateur-ordinateur de la marque Qarnot

La récupération d'énergie fatale des calculs informatiques n'est pas conservée pour la suite de l'étude

A ce stade, les énergies renouvelables restant à approfondir sont les suivantes :



ZAC LA HOUSSAYE

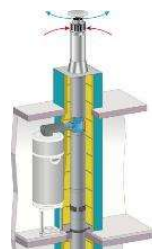
FAISABILITE

1. Présentation des scénarios pressentis



1. Description du scénario

Usage	Chauffage	Climatisation	Eau chaude sanitaire
 Logements	Chauffage individuel électrique		Chauffe-eau thermodynamique individuel
 Bureaux	Pompe à chaleur réversible (production de chaleur et de froid) dit à détente directe		Production décentralisée de type ballon d'eau chaude sanitaire électrique à proximité des points de puisage
 Enseignement	Pompe à chaleur réversible (production de chaleur et de froid) dit à détente directe		Production décentralisée de type ballon d'eau chaude sanitaire électrique à proximité des points de puisage



Chauffe eau thermodynamique sur conduit de prise et de rejet d'air collectif



Principe de la climatisation à détente directe



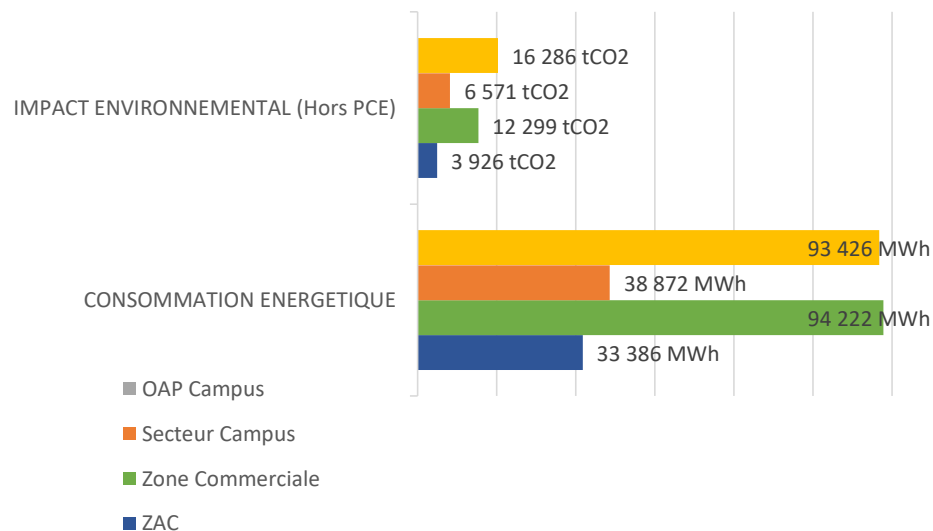
Principe de la climatisation à l'aide d'un rooftop

ZAC LA HOUSSAYE

FAISABILITE

2. Analyse multi-critères

Bilan global sur 20 ans



0% d'énergie renouvelable ou de récupération



6 543 arbres/an



151 vols A/R Paris – New York par an et par voyageur



7 fois la consommation annuelle de l'éclairage de la tour Eiffel

Scénario 0 (Sans PV)
(RE2020 ELECTRICITE)

BILAN SUR 20 ANS	CONSOMMATION ENERGETIQUE	IMPACT ENVIRONNEMENTAL (Hors PCE)
ZAC	33 386 MWh	3 926 tCO2
Zone Commerciale	94 222 MWh	12 299 tCO2
Secteur Campus	38 872 MWh	6 571 tCO2
OAP Campus	93 426 MWh	16 286 tCO2
Total	259 906 MWh	39 082 tCO2

1. Description du scénario

Usage	Chauffage	Climatisation	Eau chaude sanitaire
 Logements	Chaufferie collective bois à l'échelle de chaque ilot avec appoint gaz.		Chaufferie collective bois avec appoint gaz à l'échelle de chaque ilot, mutualisée à celle dédiée au chauffage Récupération de chaleur sur groupe froid (en option)
 Bureaux	Pompe à chaleur réversible (production de chaleur et de froid) dit à détente directe		Production décentralisée de type ballon d'eau chaude sanitaire électrique à proximité des points de puisage
 Enseignement	Pompe à chaleur réversible (production de chaleur et de froid) dit à détente directe		Production décentralisée de type ballon d'eau chaude sanitaire électrique à proximité des points de puisage



Chaufferie bois préfabriquée de 800 kW, Montlebon (25)



Groupes froids équipés d'échangeurs pour récupérer la chaleur



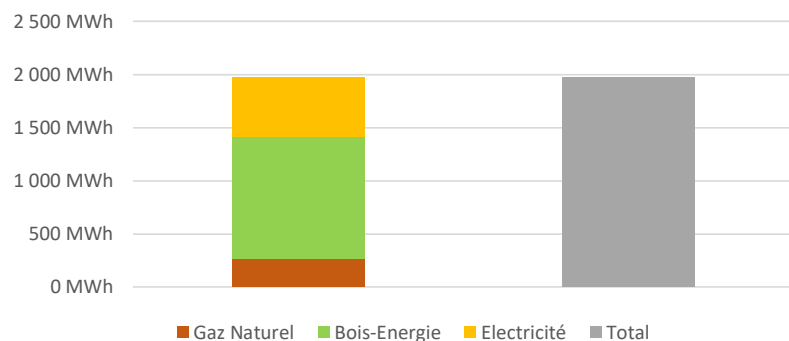
Principe de la climatisation à détente directe

ZAC LA HOUSSAYE

FAISABILITE

2. Analyse multi-critères

Part des différents vecteurs énergétiques dans les consommations (sans zone commerciale)



Part des différents vecteurs énergétiques	Consommations	Pourcentage
Consommation énergétique annuelle	1 975 MWh	/
<i>Dont bois</i>	1 142 MWh	57,82%
<i>Dont gaz</i>	285 MWh	14,45%
<i>Dont électricité</i>	548 MWh	27,73%



58% d'énergie renouvelable ou de récupération



5 237 arbres/an



121 vols A/R Paris – New York par an et par voyageur

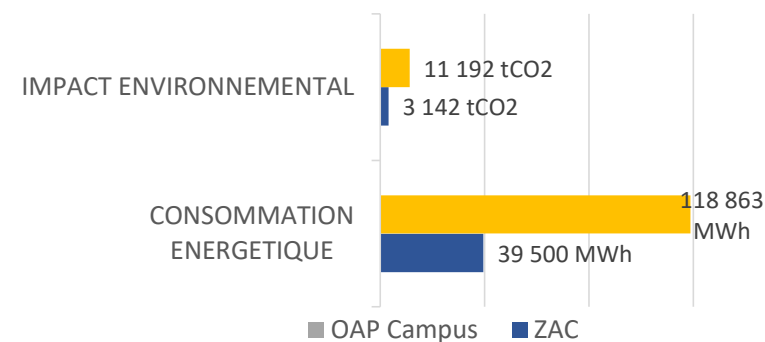


5 fois la consommation annuelle de l'éclairage de la tour Eiffel

SCÉNARIO 1 (Sans PV)

BILAN SUR 20 ANS	CONSUMMATION ENERGETIQUE	IMPACT ENVIRONNEMENTAL
ZAC	39 500 MWh	3 142 tCO2
OAP Campus	118 863 MWh	11 192 tCO2
Total	158 363 MWh	14 334 tCO2

Bilan global sur 20 ans



1. Description du scénario

Usage	Chauffage	Climatisation	Eau chaude sanitaire
 Logements	Pompe à chaleur hybride (Pompe à chaleur + chaufferie gaz)		Chaufferie collective au gaz naturel à l'échelle de chaque îlot, mutualisée à celle dédiée au chauffage
 Bureaux	Pompe à chaleur réversible (production de chaleur et de froid) dit à détente directe		Production décentralisée de type ballon d'eau chaude sanitaire électrique à proximité des points de puisage
 Enseignement	Pompe à chaleur réversible (production de chaleur et de froid) dit à détente directe		Production décentralisée de type ballon d'eau chaude sanitaire électrique à proximité des points de puisage



Chaufferie bois préfabriquée de 800 kW, Montlebon (25)



Groupes froids équipés d'échangeurs pour récupérer la chaleur



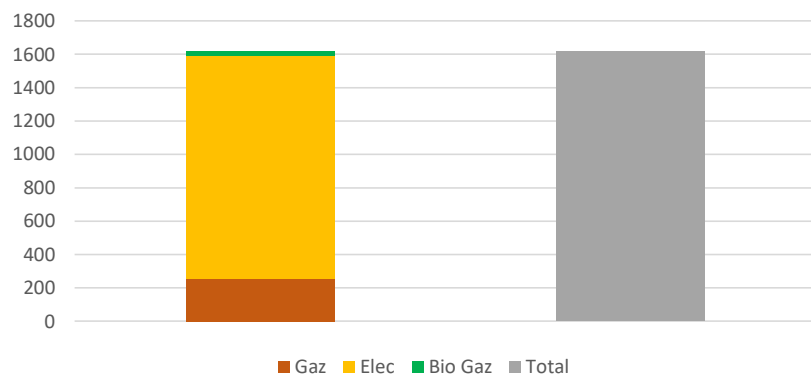
Principe de la climatisation à détente directe

ZAC LA HOUSSAYE

FAISABILITE

2. Analyse multi-critères

Part des différents vecteurs énergétiques dans les consommations



Part des différents vecteurs énergétiques	Consommations	Pourcentage
Consommation énergétique annuelle	1 617 MWh	/
Dont gaz	266 MWh	16,48%
Dont électricité	1 331 MWh	82,33%
Dont Biogaz	19 MWh	1,19%



1% d'énergie renouvelable ou de récupération



11 361 arbres/an



228 vols A/R Paris – New York par an et par voyageur

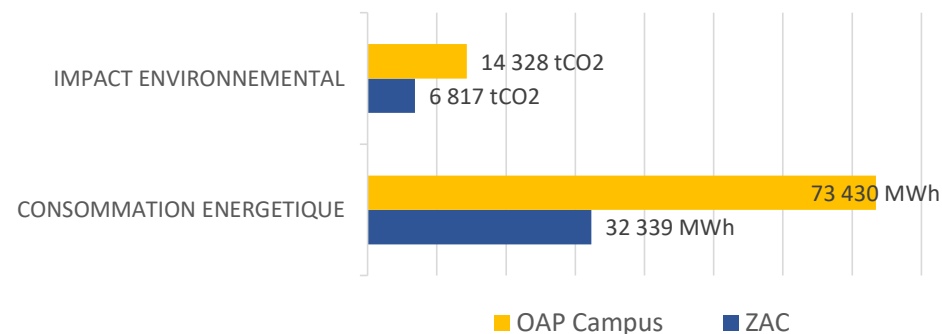


6 fois la consommation annuelle de l'éclairage de la tour Eiffel

SCÉNARIO 2 (Sans PV)

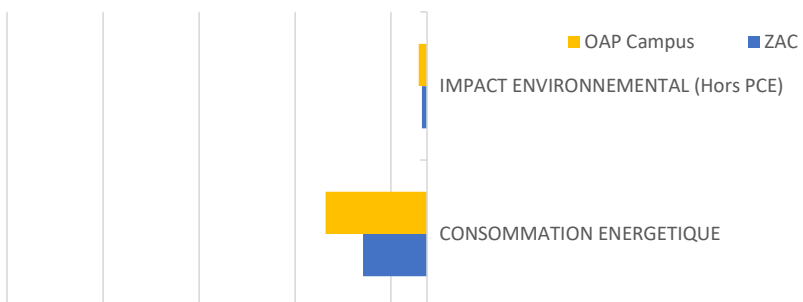
BILAN SUR 20 ANS	CONSOMMATION ENERGETIQUE	IMPACT ENVIRONNEMENTAL
ZAC	32 339 MWh	6 817 tCO2
OAP Campus	73 430 MWh	14 328 tCO2
Total	105 769 MWh	21 145 tCO2

Bilan global sur 20 ans



2. Analyse multi-critères

Bilan global sur 20 ans



100% d'énergie renouvelable
ou de récupération



- **1 459** arbres/an



- **34** vols A/R Paris – New York
par an et par voyageur



- **2,2** fois la consommation
annuelle de l'éclairage de la tour
Eiffel

SCÉNARIO PV

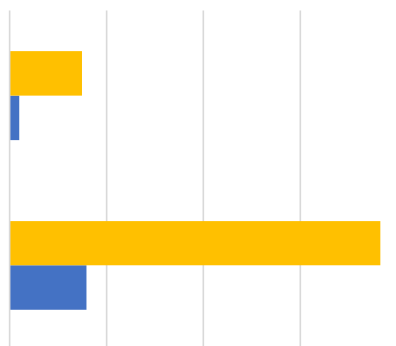
BILAN SUR 20 ANS	CONSOMMATION ENERGETIQUE	IMPACT ENVIRONNEMENTAL (Hors PCE)
ZAC	-10 678 MWh	-876 tCO ₂
OAP Campus	-16 950 MWh	-1 390 tCO ₂
Total	-27 628 MWh	-2 266 tCO₂

ZAC LA HOUSSAYE

FAISABILITE

2. Analyse multi-critères

Bilan global sur 20 ans



■ OAP Campus ■ ZAC



30% d'énergie renouvelable ou de récupération



5 084 arbres/an



117 vols A/R Paris – New York par an et par voyageur



5 fois la consommation annuelle de l'éclairage de la tour Eiffel

SCÉNARIO PV



Scénario 0
(RE2020 ELECTRICITE)

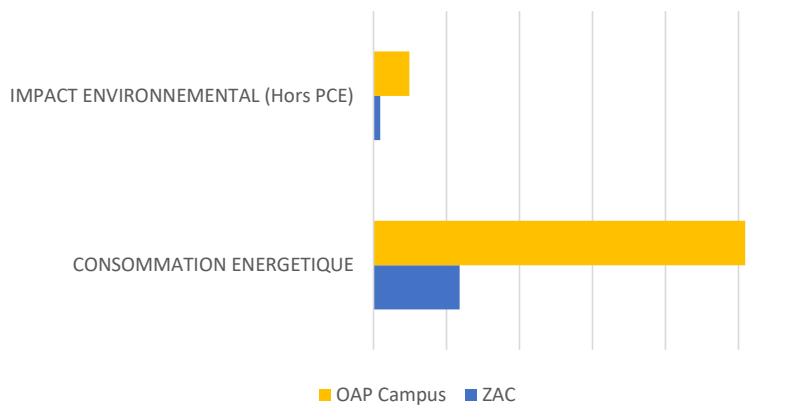
BILAN SUR 20 ANS	CONSOMMATION ENERGETIQUE	IMPACT ENVIRONNEMENTAL (Hors PCE)
ZAC	22 707 MWh	3 050 tCO2
OAP Campus	76 476 MWh	14 896 tCO2
Total	99 184 MWh	17 947 tCO2

ZAC LA HOUSSAYE

FAISABILITE

2. Analyse multi-critères

Bilan global sur 20 ans



78% d'énergie renouvelable ou de récupération



3 778 arbres/an



87 vols A/R Paris – New York par an et par voyageur



3 fois la consommation annuelle de l'éclairage de la tour Eiffel

SCÉNARIO PV



SCÉNARIO 1

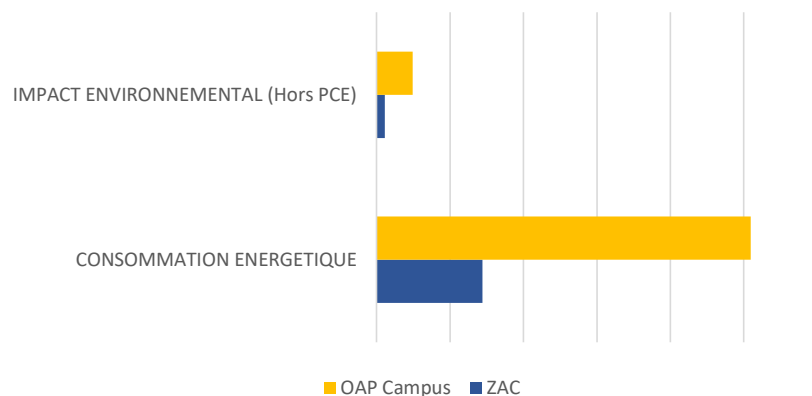
BILAN SUR 20 ANS	CONSOMMATION ENERGETIQUE	IMPACT ENVIRONNEMENTAL (Hors PCE)
ZAC	28 822 MWh	2 266 tCO2
OAP Campus	101 913 MWh	9 802 tCO2
Total	130 735 MWh	12 068 tCO2

ZAC LA HOUSSAYE

FAISABILITE

2. Analyse multi-critères

Bilan global sur 20 ans



20% d'énergie renouvelable ou de récupération



9 902 arbres/an



194 vols A/R Paris – New York par an et par voyageur



4 fois la consommation annuelle de l'éclairage de la tour Eiffel

SCÉNARIO PV



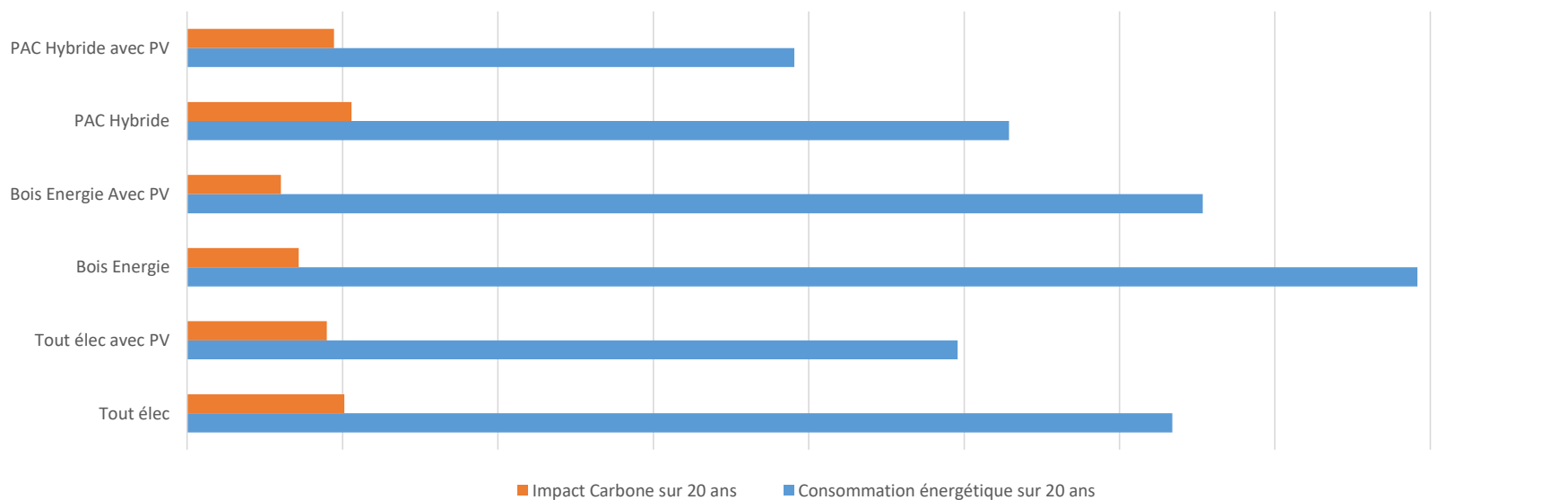
SCÉNARIO 2

BILAN SUR 20 ANS	CONSOMMATION ENERGETIQUE	IMPACT ENVIRONNEMENTAL (Hors PCE)
ZAC	21 660 MWh	5 941 tCO2
OAP Campus	56 480 MWh	12 938 tCO2
Total	78 141 MWh	18 879 tCO2

3. Comparaison des différents scénarios

	Tout élec	Tout élec avec PV	Bois Energie	Bois Energie Avec PV	PAC Hybride	PAC Hybride avec PV
Consommation énergétique sur 20 ans	126 812 MWh	99 184 MWh	158 363 MWh	130 735 MWh	105 769 MWh	78 141 MWh
Impact Carbone sur 20 ans	20 212 tCO2	17 947 tCO2	14 334 tCO2	12 068 tCO2	21 145 tCO2	18 879 tCO2

Consommation et impact Carbone des différents scénarios



ZAC LA HOUSSAYE

Investissements pressentis et coûts d'exploitation

Scénario 0 (RE2020 ELECTRICITE)

COUT D'INVESTISSEMENT	Total
Chauffage électrique individuel	163 200 €
Chauffe eau thermodynamique individuel	815 000 €
Total	978 200 €

COUT D'EXPLOITATION	
Coût énergétique annuel	250 392 €
<i>Dont électricité</i>	250 392 €
Coût d'abonnement	47 199 €
<i>Dont électricité</i>	47 199 €
Coût de maintenance annuelle	6 520 €
Total	304 111 €

Comme précisé précédemment, il est plus simple d'atteindre les seuils réglementaires avec une solution Bois Energie qu'avec des systèmes énergétiques tout électriques.

Si le scénario tout électrique devait être retenu, l'atteinte réglementaire serait plus compliquée et nécessiterai une meilleure enveloppe du bâtiment et par conséquent des coûts d'investissements plus élevés (D'avantage d'isolation, des bâtiments plus compacts, des menuiseries plus performantes, etc...).

ZAC LA HOUSSAYE

Investissements pressentis et coûts d'exploitation sur les systèmes énergétiques (hors enveloppe du bâtiment)

SCÉNARIO 1

COUT D'INVESTISSEMENT	Total
Raccordement gaz	5 000 €
Emetteur de chauffage logement	416 800 €
Sous station par bâtiment	15 000 €
Chaudière collective gaz par bâtiment < 250 kW	96 000 €
Chaudière centrale bois < 250 kW	
Chaudière centrale bois < 1000 kW	226 841 €
Surcoût gros œuvre chaudière	260 000 €
Silo compris gros œuvre	60 000 €
Total	1 079 641 €

	COUT D'EXPLOITATION
Coût énergétique annuel	164 929 €
<i>Dont bois</i>	68 517 €
<i>Dont gaz</i>	14 274 €
<i>Dont électricité</i>	82 138 €
Coût d'abonnement	47 577 €
<i>Dont gaz</i>	750 €
<i>Dont électricité</i>	46 827 €
Coût de maintenance annuelle	20 000 €
Total	232 506 €

Comme précisé précédemment, il est plus simple d'atteindre les seuils réglementaires avec une solution Bois Energie qu'avec des systèmes énergétiques tout électriques.

Si le scénario tout électrique devait être retenu, l'atteinte réglementaire serait plus compliquée et nécessiterait une meilleure enveloppe du bâtiment et par conséquent des coûts d'investissements plus élevés (D'avantage d'isolation, des bâtiments plus compacts, des menuiseries plus performantes, etc...).

L'investissement initial du scénario Bois-Energie est le plus élevé, mais le retour sur investissement est rapide car le coût d'exploitation est moins élevé.

ZAC LA HOUSSAYE

Investissements pressentis et coûts d'exploitation sur les systèmes énergétiques (hors enveloppe du bâtiment)

SCÉNARIO 2

COUT D'INVESTISSEMENT	TOTAL
Raccordement gaz	5 000 €
Chaudière collective gaz par bâtiment < 250 kW	54 442 €
Pompe à chaleur collective < 150 kW	362 945 €
Surcoût gros œuvre	104 000 €
Emetteur de chauffage logement	416 800 €
Total	943 187 €

	COUT D'EXPLOITATION
Coût énergétique annuel	227 958 €
<i>Dont bois</i>	- €
<i>Dont gaz</i>	11 217 €
<i>Dont électricité</i>	216 741 €
Coût d'abonnement	47 949 €
<i>Dont gaz</i>	750 €
<i>Dont électricité</i>	47 199 €
Coût de maintenance annuelle	7 000 €
Total	282 907 €

Le scénario hybride a un coût d'investissement plus intéressant, mais à l'instar du Scénario tout électrique, un investissement plus important est à prévoir pour l'enveloppe du bâtiment pour permettre l'atteinte des seuils RE2020.

ZAC LA HOUSSAYE

Investissements pressentis et coûts d'exploitation sur les systèmes énergétiques (hors enveloppe du bâtiment)

SCÉNARIO PV

COUT D'INVESTISSEMENT	DECOUVERTE
Production photovoltaïques	852 882 €
Total	852 882 €

Les panneaux solaires ont un temps de retour sur investissement de 16,8 ans en comptant les coûts de maintenance annuelle.

Sans compter le coût de maintenance annuel, le temps de retour sur investissement est de 14 ans et demi.

COUT D'EXPLOITATION	DECOUVERTE
Coût énergétique annuel	- 58 731 €
<i>Dont électricité production</i>	- 58 731 €
Coût d'abonnement	- €
<i>Dont électricité</i>	- €
Coût de maintenance annuelle	8 000 €
Total	- 50 731 €

ZAC LA HOUSSAYE

Impact Economique

1. Ilôt A1



L'ilôt A1 se décompose en:

-Equipements tertiaires pour une surface de 320m²

Sans Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec)	A1
Investissement	11 228 €
Coût annuel	3 491 €
Impact économique sur 20 ans	117 k€

Scenario 1 (Bois-Energie)	A1
Investissement	12 392 €
Coût annuel	2 669 €
Impact économique sur 20 ans	95 k€

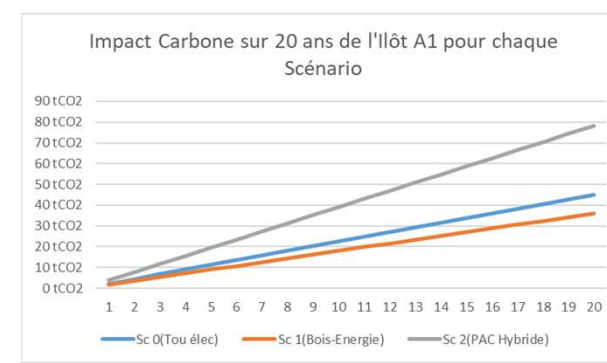
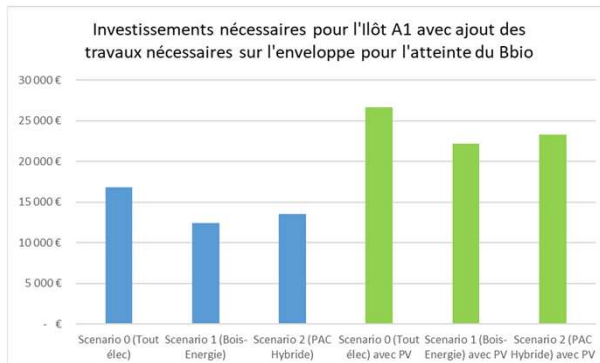
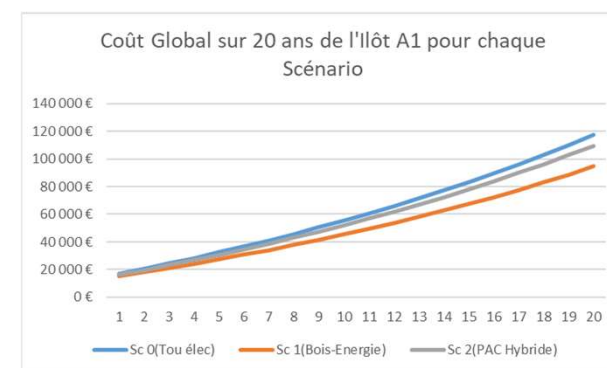
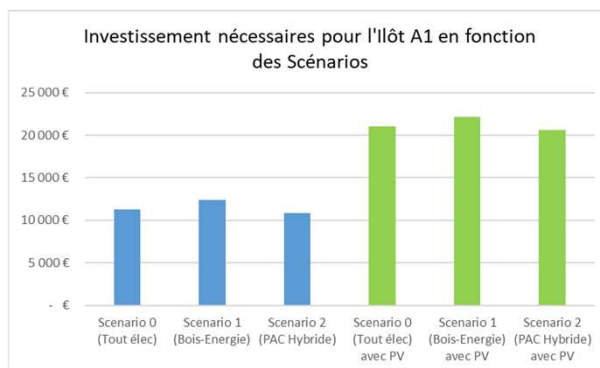
Scenario 2 (PAC Hybride)	A1
Investissement	10 826 €
Coût annuel	3 247 €
Impact économique sur 20 ans	110 k€

Avec Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec) avec PV	A1
Investissement	21 017 €
Coût annuel	2 908 €
Impact économique sur 20 ans	101 k€

Scenario 1 (Bois-Energie) avec PV	A1
Investissement	22 181 €
Coût annuel	2 086 €
Impact économique sur 20 ans	78 k€

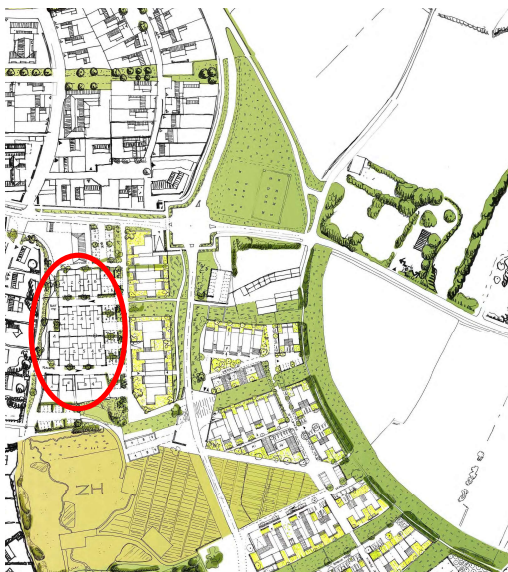
Scenario 2 (PAC Hybride) avec PV	A1
Investissement	20 615 €
Coût annuel	2 665 €
Impact économique sur 20 ans	93 k€



ZAC LA HOUSSAYE

Impact Economique

2. Ilôt A2



L'ilôt A2 se décompose en:

-20 Maisons Individuelles pour une surface de 2 600m²

Sans Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec)	A2
Investissement	92 283 €
Coût annuel	28 690 €
Impact économique sur 20 ans	965 k€

Scenario 1 (Bois-Energie)	A2
Investissement	101 853 €
Coût annuel	21 935 €
Impact économique sur 20 ans	777 k€

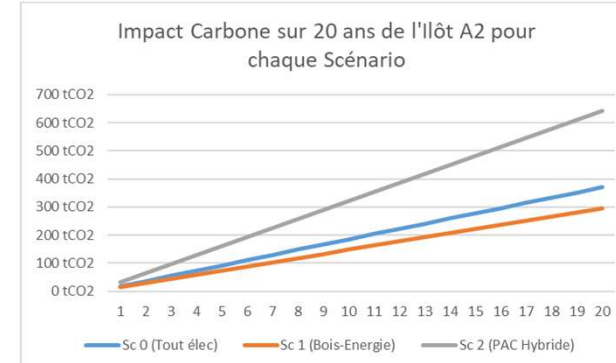
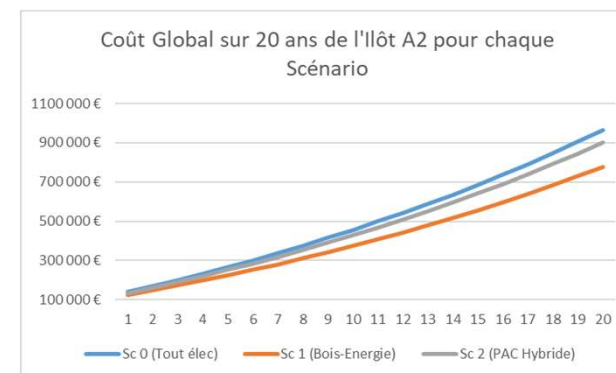
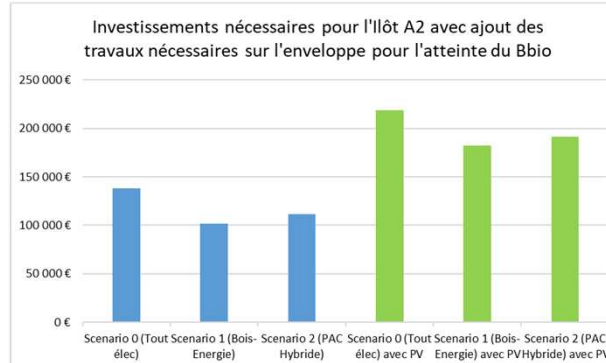
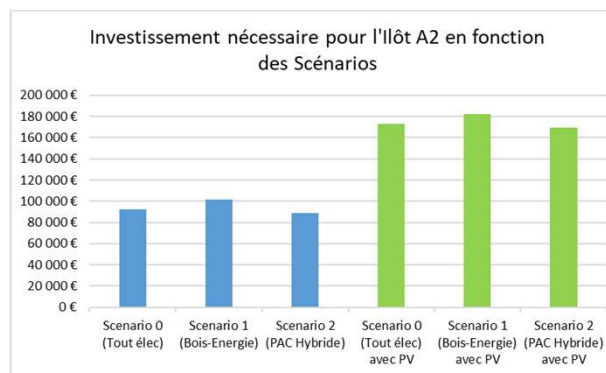
Scenario 2 (PAC Hybride)	A2
Investissement	88 980 €
Coût annuel	26 689 €
Impact économique sur 20 ans	901 €

Avec Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec) avec PV	A2
Investissement	172 744 €
Coût annuel	23 904 €
Impact économique sur 20 ans	827 k€

Scenario 1 (Bois-Energie) avec PV	A2
Investissement	182 313 €
Coût annuel	17 149 €
Impact économique sur 20 ans	639 k€

Scenario 2 (PAC Hybride) avec PV	A2
Investissement	169 440 €
Coût annuel	21 903 €
Impact économique sur 20 ans	763 k€



ZAC LA HOUSSAYE

Impact Economique

3. Ilôt A3



L'ilôt A3 comprend:

-Un bâtiment de logement collectif de 1 775m² d'emprise au sol

Sans Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec)	A3
Investissement	53 240 €
Coût annuel	16 552 €
Impact économique sur 20 ans	557 k€

Scenario 1 (Bois-Energie)	A3
Investissement	58 761 €
Coût annuel	12 655 €
Impact économique sur 20 ans	448 k€

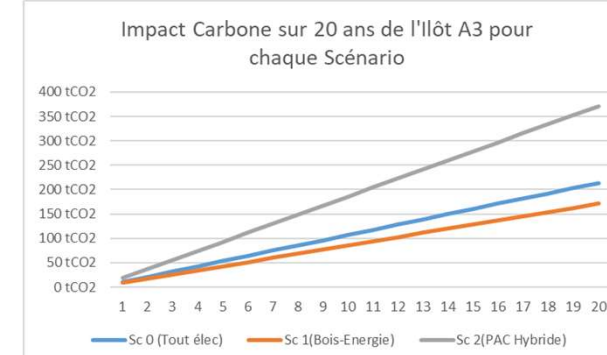
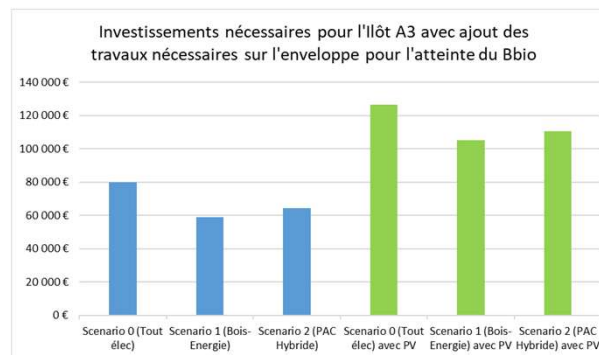
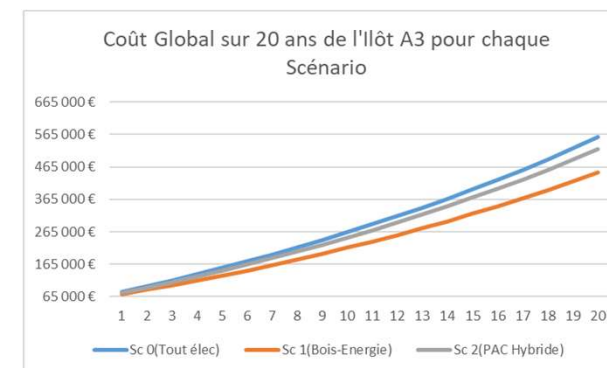
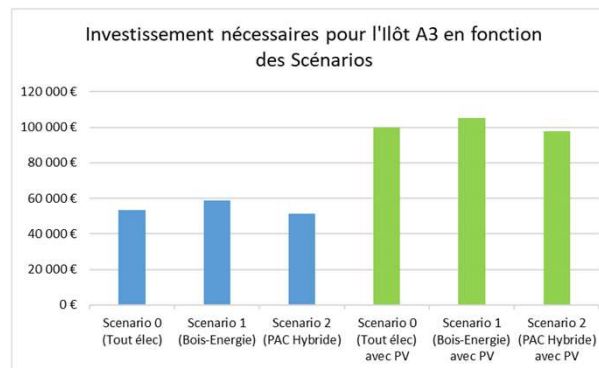
Scenario 2 (PAC Hybride)	A3
Investissement	51 335 €
Coût annuel	15 398 €
Impact économique sur 20 ans	520 k€

Avec Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec) avec PV	A3
Investissement	99 660 €
Coût annuel	13 791 €
Impact économique sur 20 ans	477 k€

Scenario 1 (Bois-Energie) avec PV	A3
Investissement	105 181 €
Coût annuel	9 893 €
Impact économique sur 20 ans	369 k€

Scenario 2 (PAC Hybride) avec PV	A3
Investissement	97 754 €
Coût annuel	12 637 €
Impact économique sur 20 ans	440 k€



ZAC LA HOUSSAYE

Impact Economique

4. Ilôt A4



L'ilôt A4 comprend:

-Un bâtiment de logement collectif de 2 420m² d'emprise au sol

Sans Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec)	A4
Investissement	79 860 €
Coût annuel	24 828 €
Impact économique sur 20 ans	835 k€

Scenario 1 (Bois-Energie)	A4
Investissement	88 142 €
Coût annuel	18 982 €
Impact économique sur 20 ans	673 k€

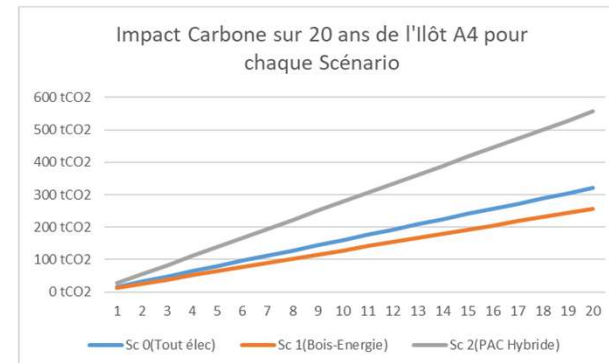
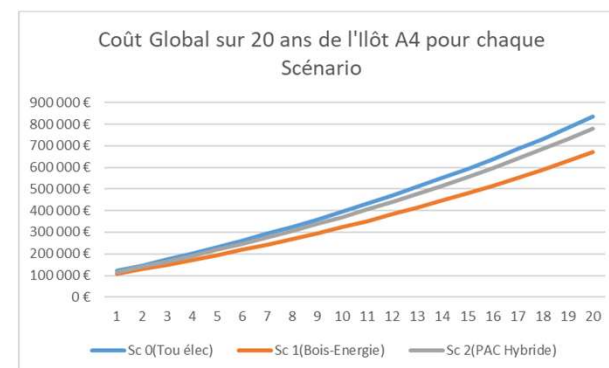
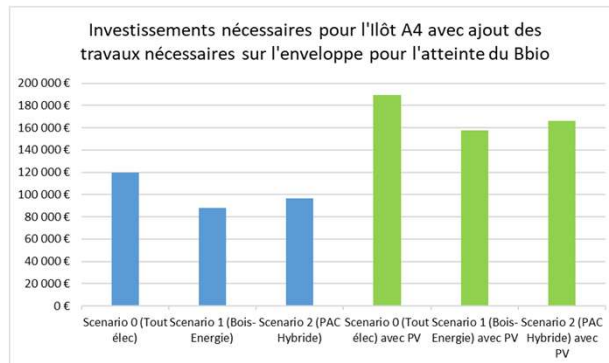
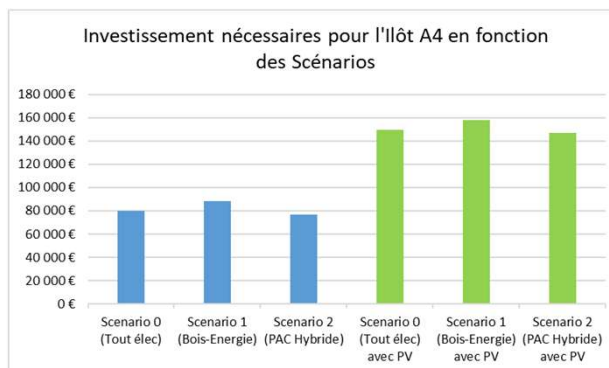
Scenario 2 (PAC Hybride)	A4
Investissement	77 002 €
Coût annuel	23 097 €
Impact économique sur 20 ans	780 k€

Avec Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec) avec PV	A4
Investissement	149 490 €
Coût annuel	20 686 €
Impact économique sur 20 ans	715 k€

Scenario 1 (Bois-Energie) avec PV	A4
Investissement	157 771 €
Coût annuel	14 840 €
Impact économique sur 20 ans	553 k€

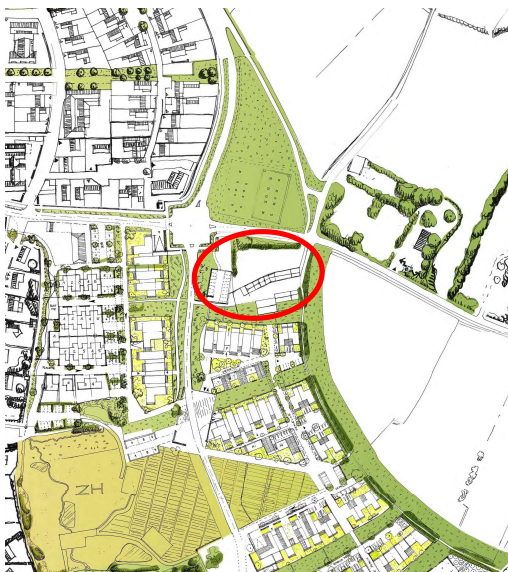
Scenario 2 (PAC Hybride) avec PV	A4
Investissement	146 631 €
Coût annuel	18 955 €
Impact économique sur 20 ans	660 k€



ZAC LA HOUSSAYE

Impact Economique

5. Ilôt B1



L'ilôt B1 comprend:

-Un bâtiment de logement collectif de 3 397,3m² d'emprise au sol

Sans Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec)	B1
Investissement	58 564 €
Coût annuel	18 207 €
Impact économique sur 20 ans	612 k€

Scenario 1 (Bois-Energie)	B1
Investissement	64 637 €
Coût annuel	13 920 €
Impact économique sur 20 ans	493 k€

Scenario 2 (PAC Hybride)	B1
Investissement	56 468 €
Coût annuel	16 937 €
Impact économique sur 20 ans	572 k€

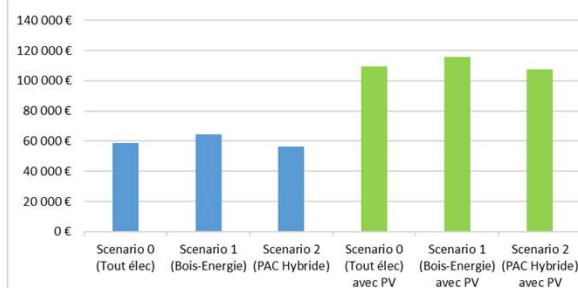
Avec Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec) avec PV	B1
Investissement	109 626 €
Coût annuel	15 170 €
Impact économique sur 20 ans	525 k€

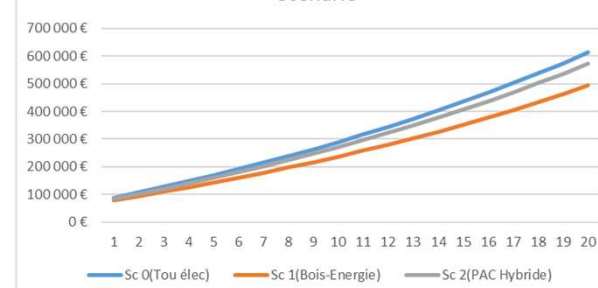
Scenario 1 (Bois-Energie) avec PV	B1
Investissement	115 699 €
Coût annuel	10 883 €
Impact économique sur 20 ans	406 k€

Scenario 2 (PAC Hybride) avec PV	B1
Investissement	107 530 €
Coût annuel	13 900 €
Impact économique sur 20 ans	484 k€

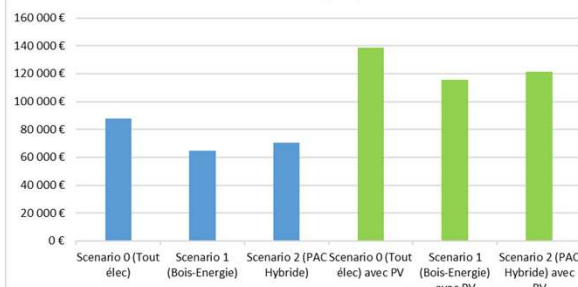
Investissement nécessaires pour l'ilôt B1 en fonction des Scénarios



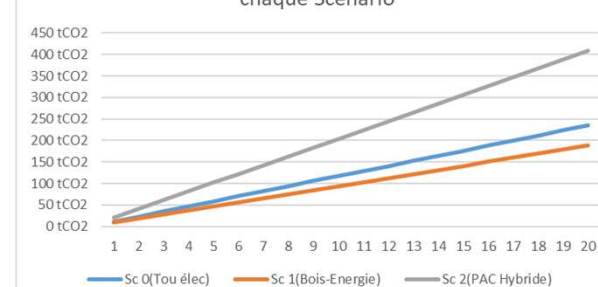
Coût Global sur 20 ans de l'ilôt B1 pour chaque Scénario



Investissements nécessaires pour l'ilôt B1 avec ajout des travaux nécessaires sur l'enveloppe pour l'atteinte du Bbio



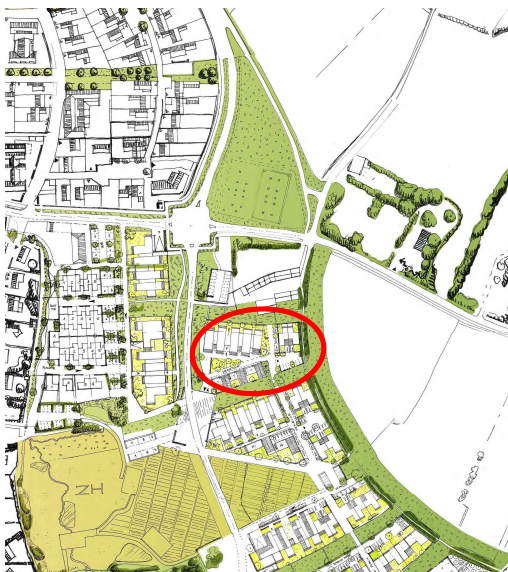
Impact Carbone sur 20 ans de l'ilôt B1 pour chaque Scénario



ZAC LA HOUSSAYE

Impact Economique

6. Ilôt B2



L'ilôt B2 comprend:

-Un bâtiment de logement collectif de 3 910m² d'emprise au sol

Sans Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec)	B2
Investissement	94 945 €
Coût annuel	29 517 €
Impact économique sur 20 ans	993 k€

Scenario 1 (Bois-Energie)	B2
Investissement	104 791 €
Coût annuel	22 567 €
Impact économique sur 20 ans	800 k€

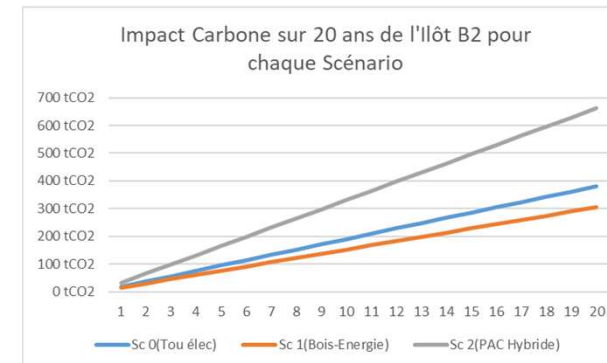
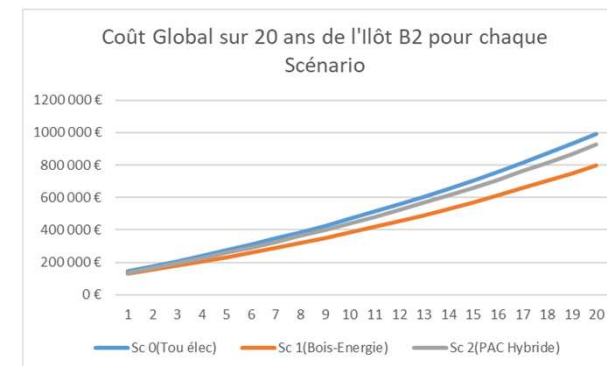
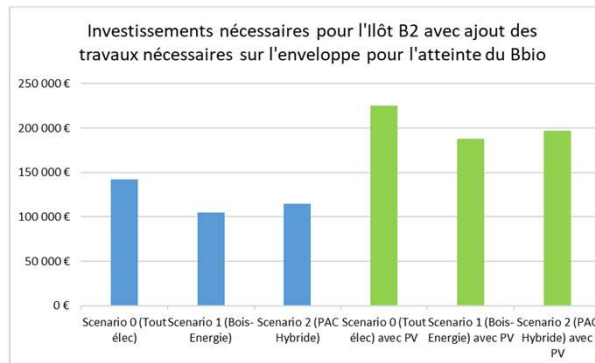
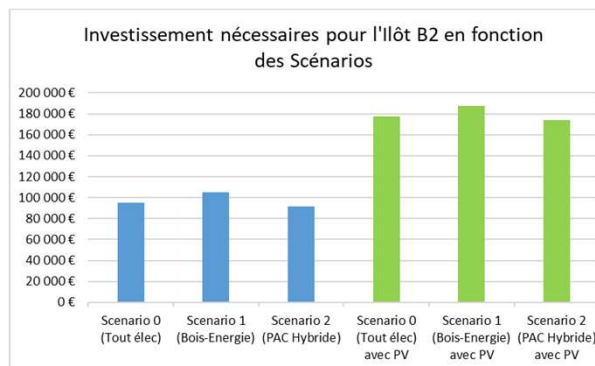
Scenario 2 (PAC Hybride)	B2
Investissement	91 547 €
Coût annuel	27 459 €
Impact économique sur 20 ans	927 k€

Avec Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec) avec PV	B2
Investissement	177 727 €
Coût annuel	24 593 €
Impact économique sur 20 ans	851 k€

Scenario 1 (Bois-Energie) avec PV	B2
Investissement	187 573 €
Coût annuel	17 643 €
Impact économique sur 20 ans	658 k€

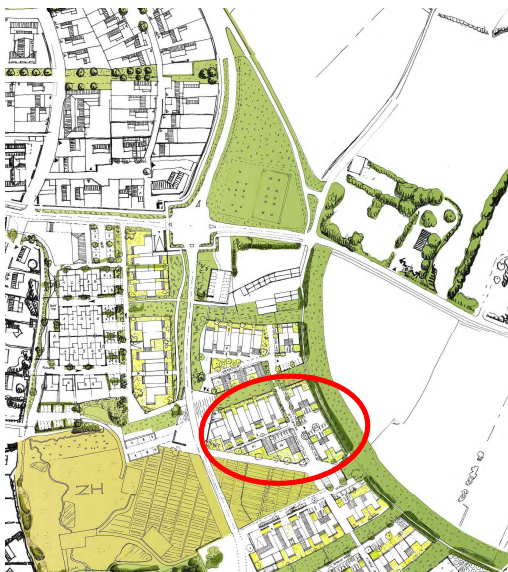
Scenario 2 (PAC Hybride) avec PV	B2
Investissement	174 328 €
Coût annuel	22 535 €
Impact économique sur 20 ans	785 k€



ZAC LA HOUSSAYE

Impact Economique

7. Ilôt B3



L'ilôt B3 comprend:

-Un bâtiment de logement collectif de 5 054,76m² d'emprise au sol

Sans Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec)	B3
Investissement	152 267 €
Coût annuel	47 338 €
Impact economique sur 20 ans	1 592 k€

Scenario 1 (Bois-Energie)	B3
Investissement	168 057 €
Coût annuel	36 192 €
Impact economique sur 20 ans	1 282 k€

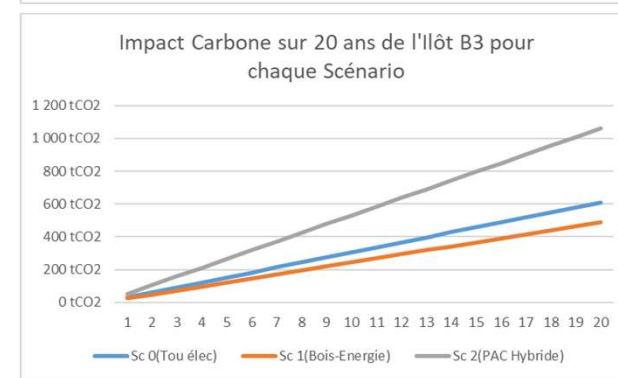
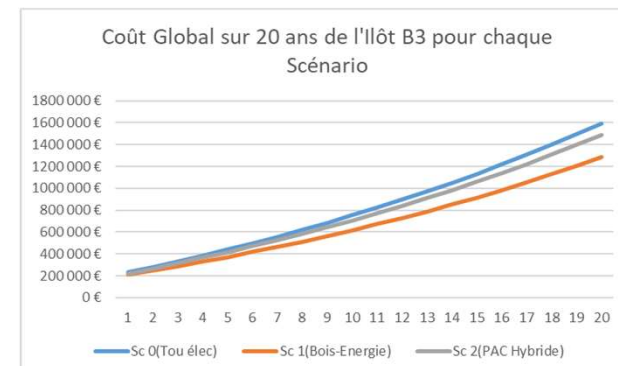
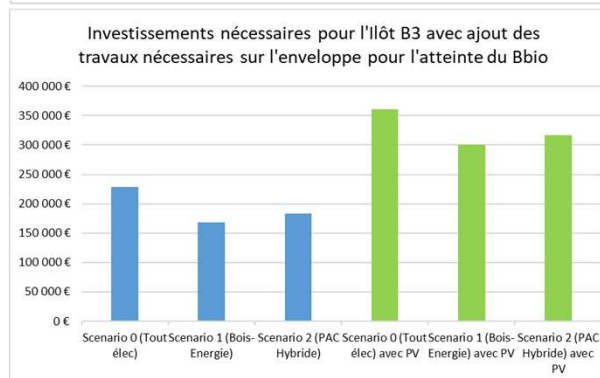
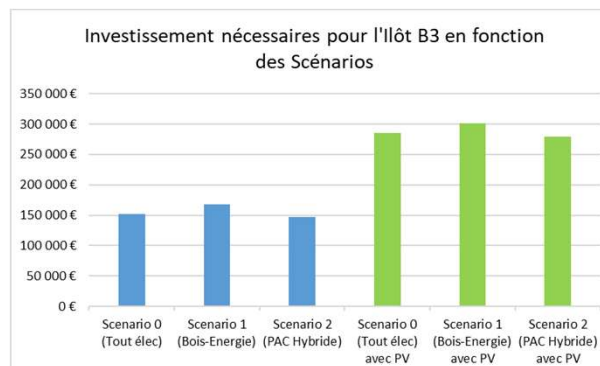
Scenario 2 (PAC Hybride)	B3
Investissement	146 817 €
Coût annuel	44 037 €
Impact economique sur 20 ans	1 487 k€

Avec Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec) avec PV	B3
Investissement	285 027 €
Coût annuel	39 441 €
Impact economique sur 20 ans	1 364 k€

Scenario 1 (Bois-Energie) avec PV	B3
Investissement	300 817 €
Coût annuel	28 295 €
Impact economique sur 20 ans	1 055 k€

Scenario 2 (PAC Hybride) avec PV	B3
Investissement	279 577 €
Coût annuel	36 141 €
Impact economique sur 20 ans	1 259 k€



ZAC LA HOUSSAYE

Impact Economique

8. Ilôt C1



L'ilôt C1 comprend:

-Un bâtiment de logement collectif de 3 929,43m² d'emprise au sol

Sans Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec)	C1
Investissement	86 959 €
Coût annuel	27 035 €
Impact économique sur 20 ans	909 k€

Scenario 1 (Bois-Energie)	C1
Investissement	95 977 €
Coût annuel	20 669 €
Impact économique sur 20 ans	732 k€

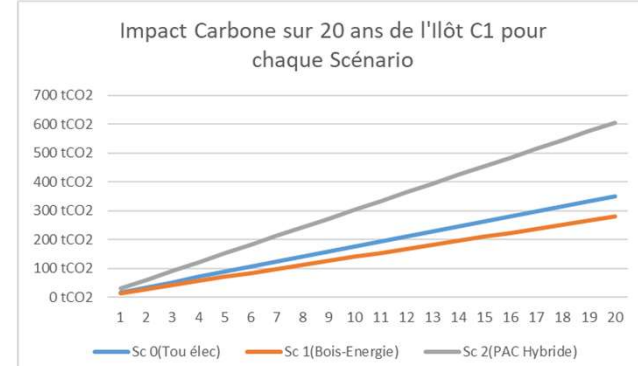
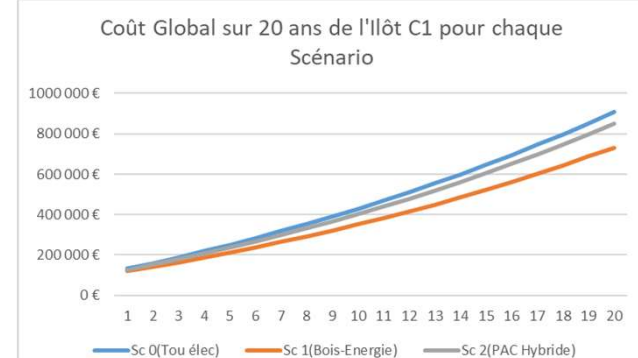
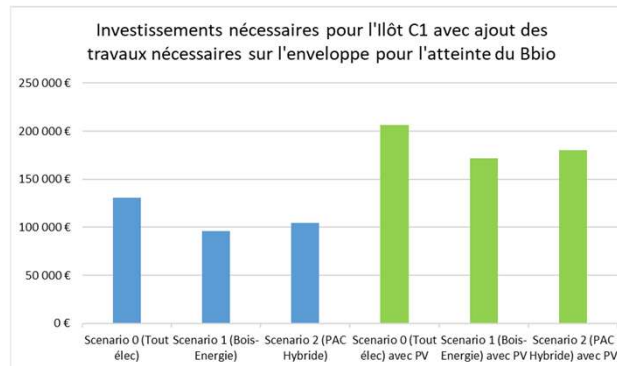
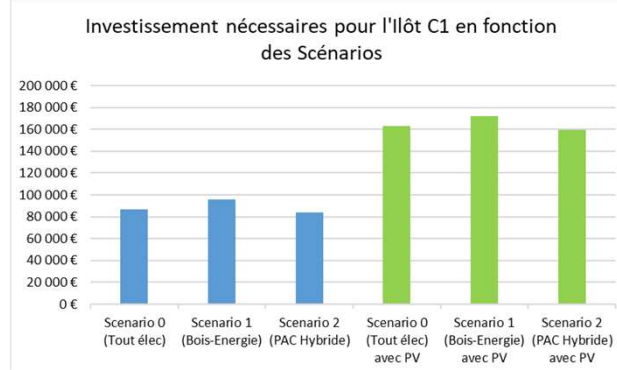
Scenario 2 (PAC Hybride)	C1
Investissement	83 846 €
Coût annuel	25 150 €
Impact économique sur 20 ans	849 k€

Avec Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec) avec PV	C1
Investissement	162 778 €
Coût annuel	22 525 €
Impact économique sur 20 ans	779 k€

Scenario 1 (Bois-Energie) avec PV	C1
Investissement	171 795 €
Coût annuel	16 159 €
Impact économique sur 20 ans	602 k€

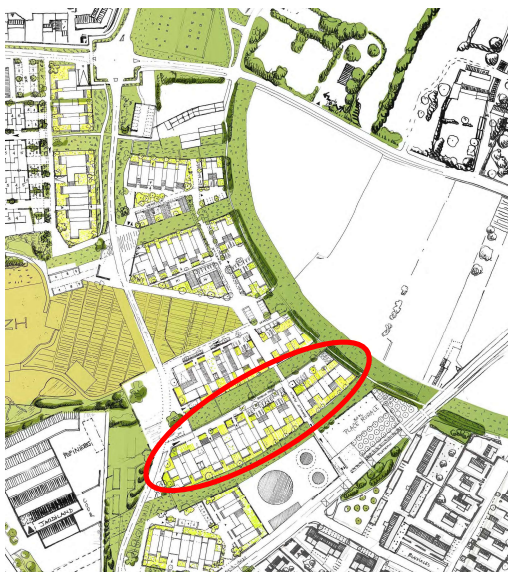
Scenario 2 (PAC Hybride) avec PV	C1
Investissement	159 665 €
Coût annuel	20 640 €
Impact économique sur 20 ans	719 k€



ZAC LA HOUSSAYE

Impact Economique

9. Ilôt C2



L'ilôt C2 comprend:

-Un bâtiment de logement collectif de 6 531,52m² d'emprise au sol

Sans Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec)	C2
Investissement	133 810 €
Coût annuel	41 600 €
Impact économique sur 20 ans	1 399 k€

Scenario 1 (Bois-Energie)	C2
Investissement	147 687 €
Coût annuel	31 805 €
Impact économique sur 20 ans	1 127 k€

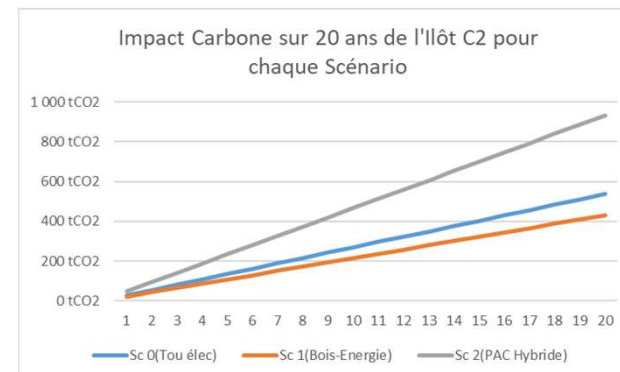
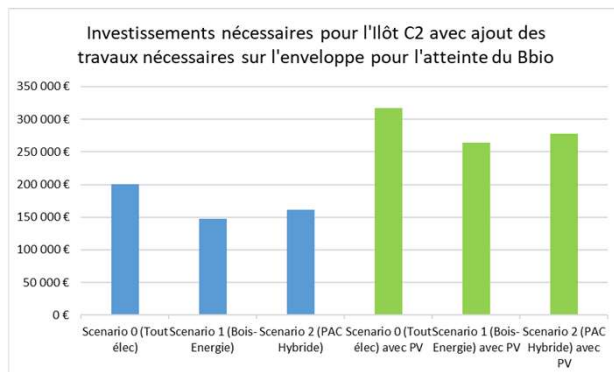
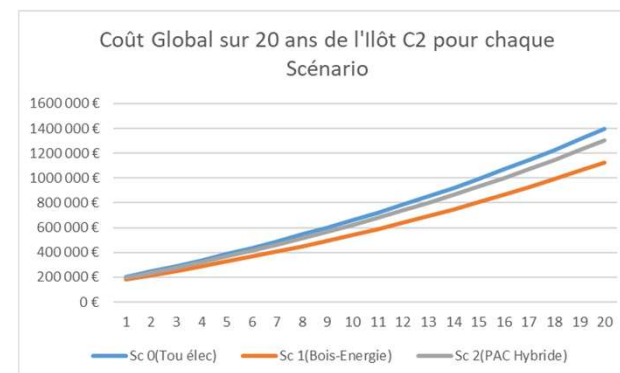
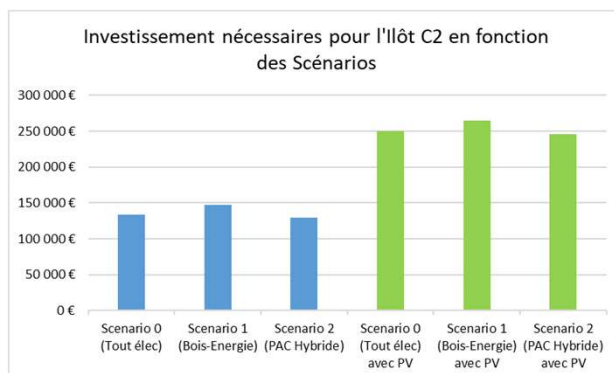
Scenario 2 (PAC Hybride)	C2
Investissement	129 021 €
Coût annuel	38 700 €
Impact économique sur 20 ans	1 307 k€

Avec Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec) avec PV	C2
Investissement	250 478 €
Coût annuel	34 660 €
Impact économique sur 20 ans	1 199 k€

Scenario 1 (Bois-Energie) avec PV	C2
Investissement	264 355 €
Coût annuel	24 865 €
Impact économique sur 20 ans	927 k€

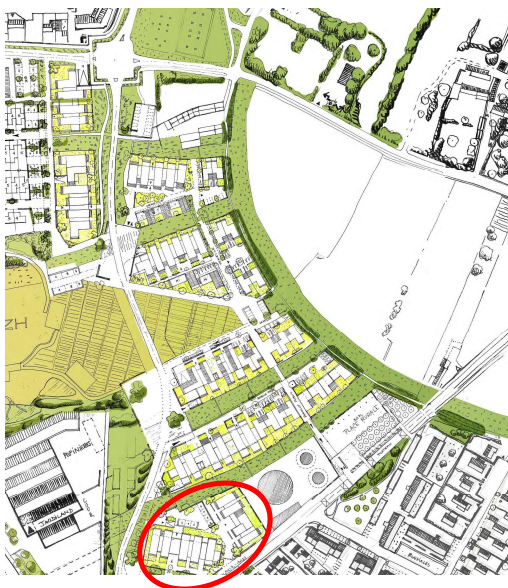
Scenario 2 (PAC Hybride) avec PV	C2
Investissement	245 689 €
Coût annuel	31 760 €
Impact économique sur 20 ans	1 107 k€



ZAC LA HOUSSAYE

Impact Economique

10. Ilôt D1



L'ilôt D1 comprend:

-Un bâtiment de logement collectif de 4 048,80m² d'emprise au sol

Sans Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec)	D1
Investissement	119 790 €
Coût annuel	37 241 €
Impact économique sur 20 ans	1 252 k€

Scenario 1 (Bois-Energie)	D1
Investissement	132 213 €
Coût annuel	28 473 €
Impact économique sur 20 ans	1 009 k€

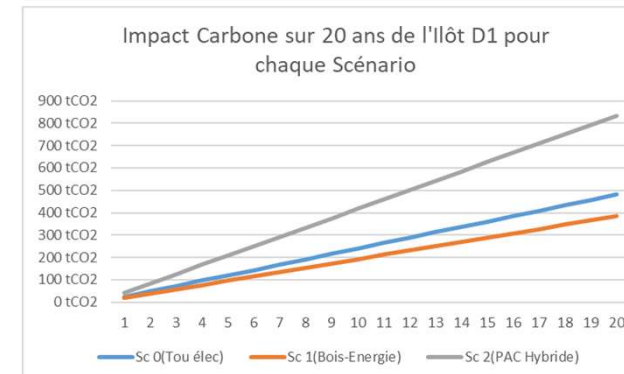
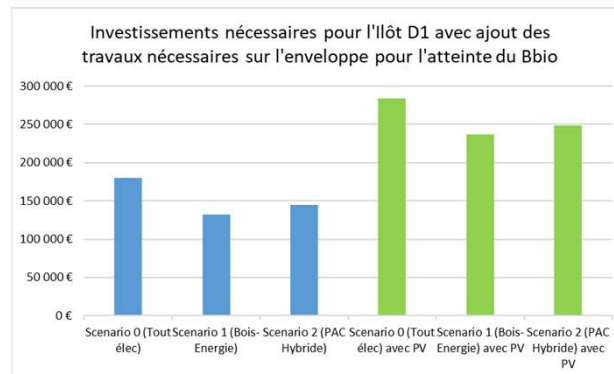
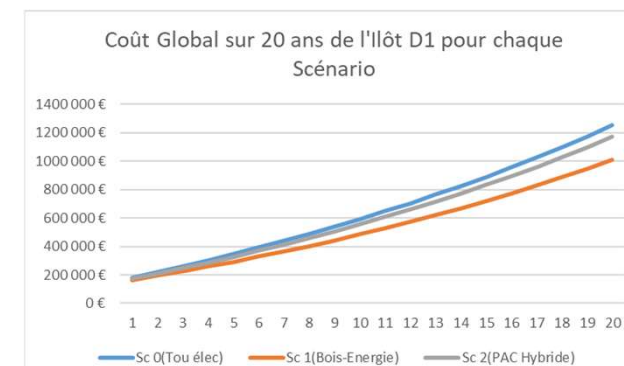
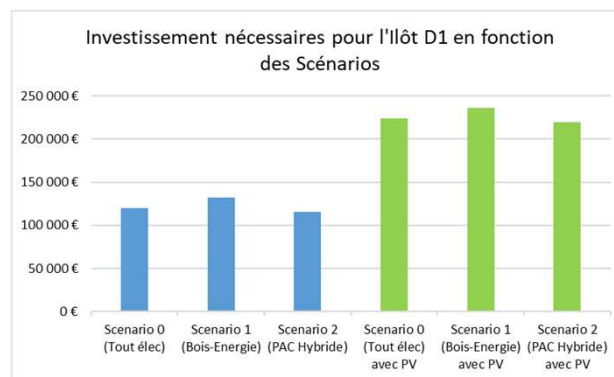
Scenario 2 (PAC Hybride)	D1
Investissement	115 503 €
Coût annuel	34 645 €
Impact économique sur 20 ans	1 170 k€

Avec Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec) avec PV	D1
Investissement	224 234 €
Coût annuel	31 029 €
Impact économique sur 20 ans	1 073 k€

Scenario 1 (Bois-Energie) avec PV	D1
Investissement	236 657 €
Coût annuel	22 260 €
Impact économique sur 20 ans	830 k€

Scenario 2 (PAC Hybride) avec PV	D1
Investissement	219 947 €
Coût annuel	28 432 €
Impact économique sur 20 ans	991 k€



ZAC LA HOUSSAYE

Impact Economique

11. Ilôt D2



L'ilôt D2 comprend:

-Un bâtiment de logement collectif de 4 048,80m² d'emprise au sol

Sans Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec)	D2
Investissement	106 480 €
Coût annuel	33 104 €
Impact économique sur 20 ans	1 113 k€

Scenario 1 (Bois-Energie)	D2
Investissement	117 523 €
Coût annuel	25 309 €
Impact économique sur 20 ans	897 k€

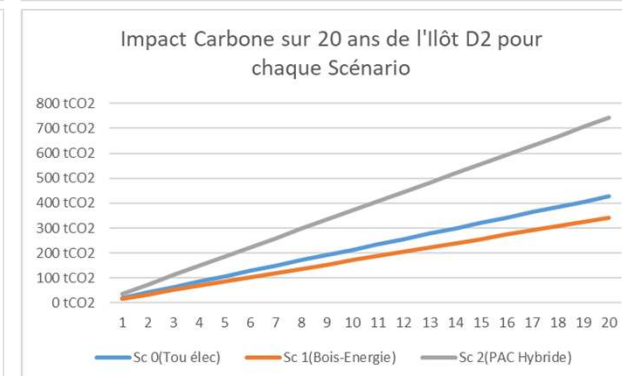
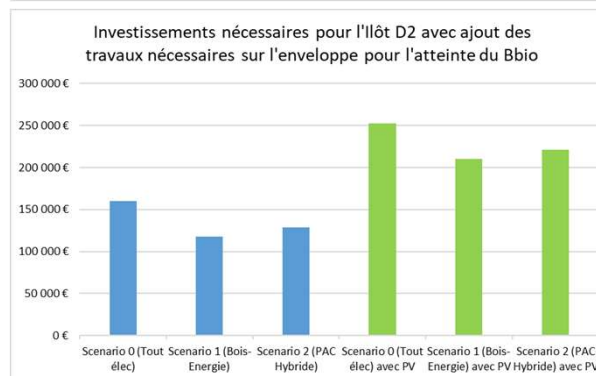
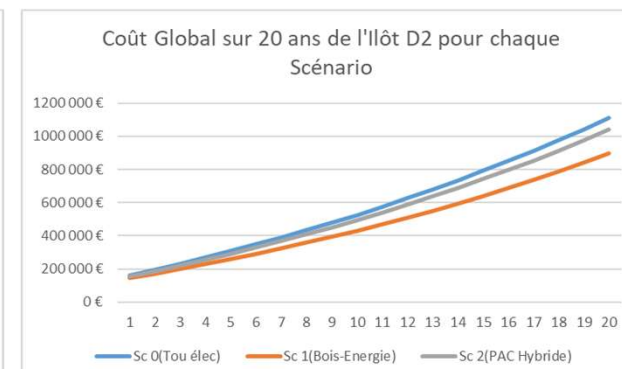
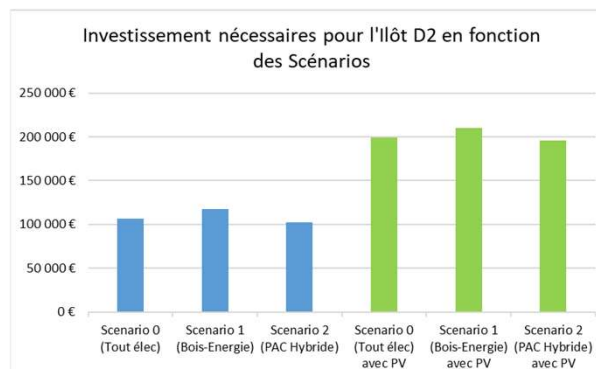
Scenario 2 (PAC Hybride)	D2
Investissement	102 669 €
Coût annuel	30 795 €
Impact économique sur 20 ans	1 040 k€

Avec Photovoltaïque:

Scenario 0 (Tout élec) avec PV	D2
Investissement	199 320 €
Coût annuel	27 581 €
Impact économique sur 20 ans	954 k€

Scenario 1 (Bois-Energie) avec PV	D2
Investissement	210 362 €
Coût annuel	19 787 €
Impact économique sur 20 ans	738 k€

Scenario 2 (PAC Hybride) avec PV	D2
Investissement	195 508 €
Coût annuel	25 273 €
Impact économique sur 20 ans	881 k€



ZAC LA HOUSSAYE

Synthèse sur les systèmes énergétiques uniquement (hors enveloppe du bâtiment)

	Tout élec	Tout élec avec PV	Bois Energie	Bois Energie Avec PV	PAC Hybride	PAC Hybride avec PV
Coût d'investissement	978 200 €	1 831 082 €	1 079 641 €	1 932 523 €	943 187 €	1 796 069 €
Coût d'exploitation	304 111 €	253 380 €	232 506 €	181 775 €	282 907 €	232 176 €
Coût Global sur 20 ans	10 226 k€	8 764 k€	8 239 k€	6 777 k€	9 552 k€	8 090 k€

