

ANALYSE DU POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES

QUARTIER DU CLOS DE LA POINTE - ORLEANS



Réf : 2015.184-E04 B

14/06/2016

Rédigé par : Maxime PIROT

Vérifié par : Jonathan COULET

SOMMAIRE

1.	ANALYSE DES BESOINS ENERGETIQUES	3
1.1.	<i>Description des besoins estimés</i>	<i>3</i>
1.2.	<i>Programmation.....</i>	<i>3</i>
1.3.	<i>Bilan énergétique.....</i>	<i>4</i>
2.	DEFINITION DES SCENARIOS	5
2.1.	<i>Rappel du contexte du projet.....</i>	<i>5</i>
2.2.	<i>Les solutions écartées</i>	<i>6</i>
2.3.	<i>Définition des ambitions et des stratégies énergétiques.....</i>	<i>11</i>
2.4.	<i>Quelques illustrations des systèmes énergétiques proposés.....</i>	<i>13</i>
3.	ANALYSE DES SCENARIOS ENERGETIQUES.....	18
3.1.	<i>Hypothèses.....</i>	<i>18</i>
3.2.	<i>Transcription opérationnelle des objectifs.....</i>	<i>18</i>
3.3.	<i>Scénario de référence</i>	<i>19</i>
3.4.	<i>Scénario peu ambitieux : solaire hybride.....</i>	<i>22</i>
3.5.	<i>Scénario ambitieux pour le territoire : solaire hybride et photovoltaïque.....</i>	<i>29</i>
3.6.	<i>Scénario ambitieux pour le quartier : bois énergie</i>	<i>37</i>
3.7.	<i>Scénario très ambitieux pour le quartier et le territoire : bois énergie et photovoltaïque</i>	<i>43</i>
3.8.	<i>Comparaison des scénarios</i>	<i>49</i>
3.9.	<i>Autoconsommation électrique.....</i>	<i>63</i>
4.	CONCLUSION	59
5.	TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	60

1. ANALYSE DES BESOINS ENERGETIQUES

1.1. Description des besoins estimés

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

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

1.2. Programmation

La programmation exacte de la ZAC du Clos de la Pointe n'est pas totalement arrêtée, cependant d'après les hypothèses actuelles, la programmation pressentie est la suivante :

Parcelle	Maisons individuelles		Logements intermédiaires		Total	
	Nombre	Surface	Nombre	Surface	Nombre	Surface
1	36	3 600	12	960	48	4 560
2	82	8 200	24	1 920	106	10 120
3	31	3 100	51	4 080	82	7 180
4	106	10 600	42	3 360	148	13 960
5	150	15 000	0	0	150	15 000
6	98	9 800	38	3 040	136	12 840
Total	503	50 300	167	13 360	670	63 660

FIGURE 1 : PROGRAMMATION RETENUE POUR L'ETUDE

L'hypothèse est prise que 50 % des bâtiments atteindront le niveau RT 2012 – 20 % et 50 % seront soumis à la RBR 2020.

1.3. Bilan énergétique

Les besoins sont estimés en fonction de la programmation, de la performance énergétique des bâtiments et des activités qui d'installeront sur la ZAC :

Typologie	Performance	Besoin de chauffage (kWh/an)	Besoin d'ECS (kWh/an)	Besoin de froid (kWh/an)	Besoin électrique (kWh/an)
Maisons individuelles	RBR 2020	387 310	553 300	0	608 630
Logements intermédiaires	RBR 2020	102 872	183 700	0	161 656
Maisons individuelles	RT 2012 - 20 %	774 620	553 300	0	852 082
Logements intermédiaires	RT 2012 - 20 %	164 595	183 700	0	200 400
TOTAL	-	1 429 000	1 474 000	0	1 823 000

FIGURE 2 : BESOINS ENERGETIQUES GLOBAUX DE LA ZAC

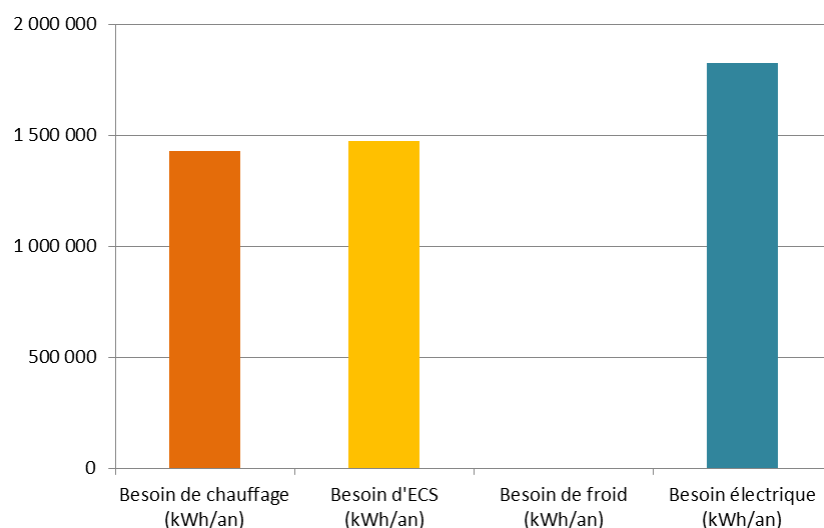


FIGURE 3 : REPARTITION DES BESOINS ENERGETIQUES

Les besoins de chauds (chauffage et ECS réunis) représentent la majorité des besoins énergétique du projet. Le choix de réaliser des bâtiments 20 % plus performants que la RT 2012 permet de réduire de manière très importante les besoins de chauffage (grâce à la performance du bâti), alors que les autres besoins (ECS et électriques) sont très difficiles à réduire. La part la plus importante de l'électricité est liée aux usages dits « spécifiques », qui correspondent aux besoins non réglementaires : multimédia, électroménager, cuisson, luminaires à la prise ... Or, ces usages ne sont pas (ou très peu) liés à la conception du bâtiment.

	Besoin de chauffage (kWh/an)	Besoin d'ECS (kWh/an)	Besoin de froid (kWh/an)	Besoin électrique (kWh/an)
Total RT	1 664 000	1 474 000	0	1 849 000
Total RT - 20%	1 429 000	1 474 000	0	1 823 000
Gain	14%	0%	-	1%

FIGURE 4 : COMPARAISON DES BESOINS ENERGETIQUES EN FONCTION DE L'AMBICTION

2. DEFINITION DES SCENARIOS

2.1. Rappel du contexte du projet

Les caractéristiques du projet sont :

- La part très importante des maisons individuelles : 80 % de la surface logement construite
- Une performance thermique au-delà de la réglementation, ambition à minima d'être RT 2012 - 20% : besoins de chauffage très réduits
- Une zone d'agriculture urbaine au centre du projet : surface de toiture et foncier disponibles
- Urbanisation réalisée par plusieurs secteurs éclatés
- Un phasage qui devrait s'étendre au-delà de 2020.



FIGURE 5 : PLAN DU PROJET

2.2. Les solutions écartées

2.2.1. Raccordement à un réseau de chaleur

Deux réseaux de chaleur sont présents à proximité du projet : le réseau de Fleury les Aubrais et le réseau d'Orléans.

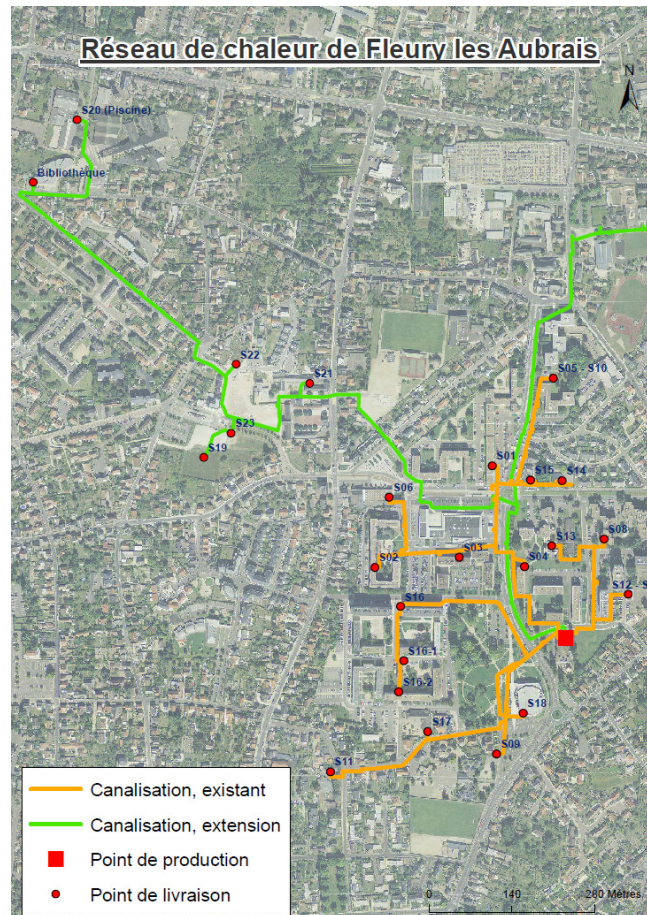


FIGURE 6 : PLAN DU RESEAU DE CHALEUR EXISTANT - SOFLEC

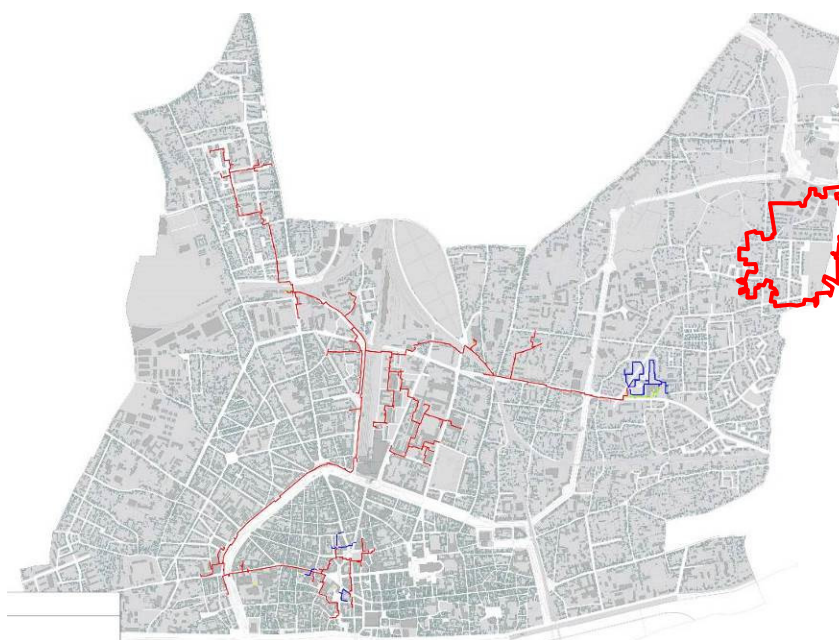


FIGURE 7 : PLAN DU RESEAU DE CHALEUR EXISTANT S.O.D.C ET DE SA ZONE DE CONCESSION

La distance estimée entre le réseau de la SOFLEC et le projet est de 1000 m alors que celui de la SODC est distant de 1800 m.

La pertinence d'un réseau de chaleur se caractérise par la densité énergétique (qui s'exprime en MWh/ml/an, et qui correspond à la chaleur délivrée pour chaque mètre de réseau installé). Plus la consommation est importante et moins le réseau est étendu, plus il est pertinent.

A titre d'exemple, le Fonds chaleur de l'ADEME n'accorde des subventions qu'aux projets de réseau ayant une densité énergétique supérieure à 1,5 MWh/ml/an. Sans cette aide financière, il faut une densité énergétique deux fois plus élevée pour que le réseau de chaleur soit une option intéressante.

Compte tenu du projet, il faudrait sur la ZAC environ 4 450 m de réseau, ce qui compte tenu de la consommation correspond à une densité énergétique de 0,6 MWh/ml/an.

En considérant le raccordement aux réseaux de chaleur existants la densité énergétique baisse encore :

	Réseau sur la ZAC (ml)	Jonction (ml)	Densité énergétique (MWh/ml/an)	Quantité de chaleur à raccorder pour atteindre le seuil de faisabilité (MWh)
Raccordement SOFLEC	4 450	1 000	0,53	5 272
Raccordement SODC	4 450	1 800	0,46	6 472

FIGURE 8 : DENSITE ENERGETIQUE BRUT EN CAS DE RACCORDEMENT

Pour atteindre le seuil de faisabilité de 1,5 MWh/ml/an, il est donc nécessaire de trouver d'autres consommateurs qui pourraient se raccorder au prolongement du réseau. Cependant, compte tenu de la situation de départ, il paraît difficile d'atteindre ce seuil. D'autant plus qu'il s'agit là d'une quantité de chaleur à raccorder au minimum, car il est fort probable que pour raccorder des bâtiments supplémentaires, un détour du réseau soit nécessaire, ce qui réduit encore la densité énergétique.

Compte tenu de ces contraintes, il paraît peu judicieux de privilégier cette solution.

2.2.2. Récupération de chaleur sur les eaux usées

La récupération de chaleur sur eaux usées peu se présenter de plusieurs manières.

Récupération de chaleur sur eaux usées : le réseau

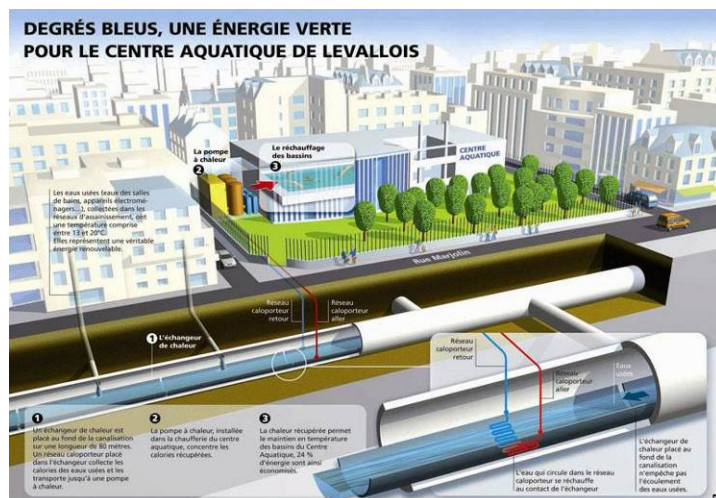


FIGURE 9 : SCHEMA DU SYSTEME DE RECUPERATION DE CHALEUR DU CENTRE AQUATIQUE DE LEVALLOIS-PERRET

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

- Un débit supérieur ou égal à 12 l/s, soit un bassin versant amont d'environ 8 000 habitants,
- Une distance entre le réseau d'eaux usées et les locaux à chauffer limitée à 200 - 300 m,
- Pour les réseaux existants, un diamètre de collecteur supérieur ou égal à 800 mm,
- Pour les réseaux neufs, un diamètre de collecteur supérieur ou égal à 400 mm.

Compte tenu de l'envergure du projet, ces conditions ne seront pas réunies. Cette option ne sera donc pas étudiée.

Récupération de chaleur sur eaux usées : préchauffage de l'ECS

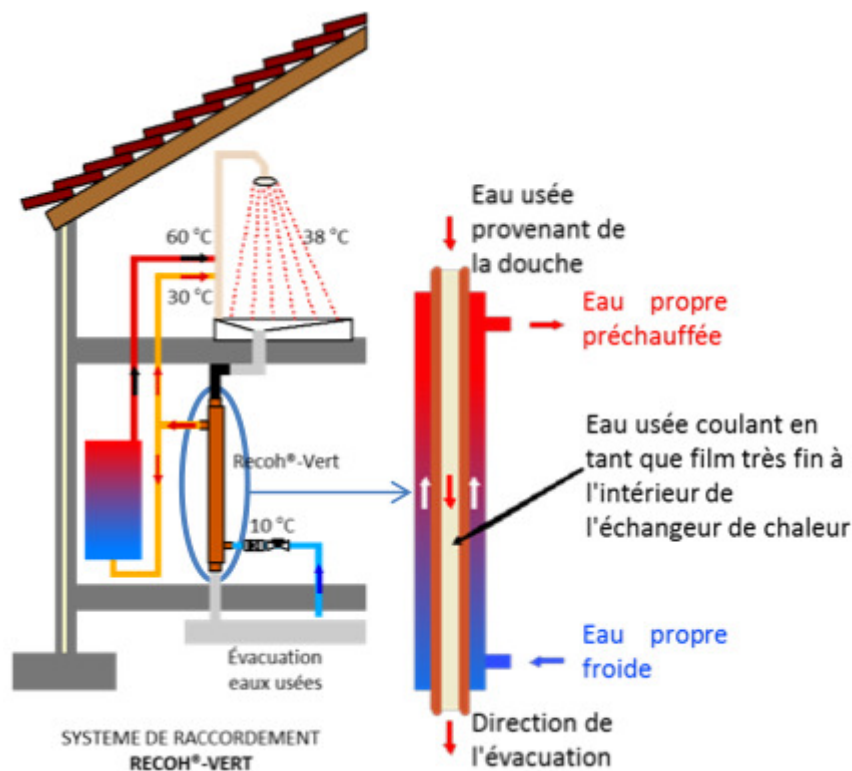


FIGURE 10 : SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DE LA RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES EAUX GRISSES

La récupération de chaleur sur les eaux grises pour le préchauffage de l'ECS permet d'économiser facilement une partie de l'énergie consommée pour l'ECS. Cependant, cela nécessite d'avoir un niveau d'écart entre l'émetteur de l'ECS et la production pour ne pas avoir de pompe de circulation afin de capter la ressource (ce qui rendrait le système très peu pertinent énergétiquement et économiquement). Ce qui compte tenu de la typologie des bâtiments ne sera que rarement le cas pour le projet. Par ailleurs, le rendement de cette solution dépend aussi grandement de la mutualisation de l'installation.

En conclusion : cette solution marche très bien pour des logements collectifs sur plusieurs niveaux, mais n'est pas pertinente pour des logements individuels en bande.

2.2.3. Méthanisation

La présence d'une ferme urbaine au sein du projet aurait pu représenter une opportunité pour installer une unité de méthanisation. Cependant, la ressource présente sur le projet est trop faible pour justifier un tel projet. Or, une unité de méthanisation est déjà présente sur le territoire de l'agglomération, il serait donc difficile de capter un gisement plus large (dans un périmètre restreint) qui permettrait une telle installation sur le projet.

Il est plus pertinent de faire un travail de synergie avec l'installation de méthanisation existante : optimiser le tri des déchets organiques pour les diriger vers cette unité et récupérer le digestat pour en faire du compost.

2.2.4. Géothermie

Le potentiel de la géothermie superficielle est très intéressant sur la ZAC.

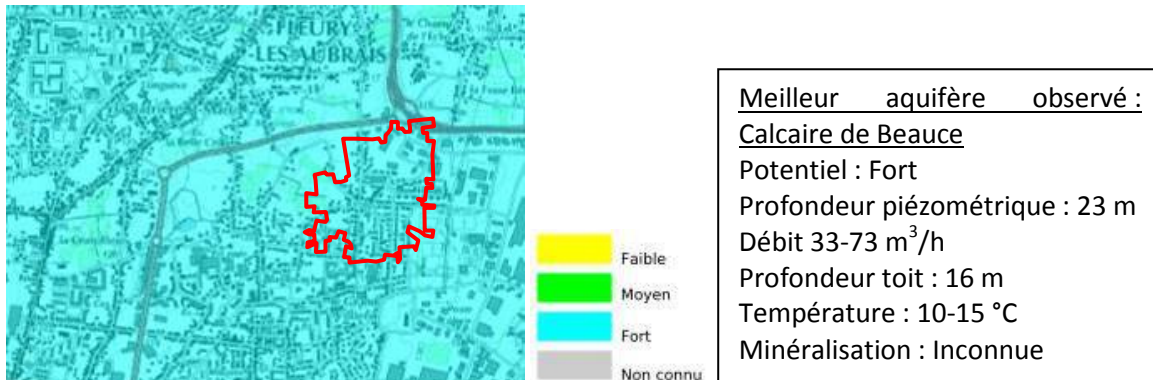


FIGURE 11 : DONNEES GEOTHERMIQUES SUPERFICIELLES DU SECTEUR CLOS DE LA POINTE (GEOTHERMIE PERSPECTIVE)

Cependant, plusieurs paramètres viennent contrebalancer l'utilisation de cette ressource :

- L'absence de besoins de froid sur le projet : la géothermie est intéressante économiquement dès que la ressource est utilisée à la fois pour la production de chaud et de froid
- Les besoins d'ECS ne peuvent pas être couverts complètement par la géothermie (température de sortie de PAC trop faible)
- Un réseau de chaleur serait nécessaire pour distribuer la chaleur, ou alors il faudrait multiplier les forages, ce qui dans les 2 cas impliquerait des coûts fixes prohibitifs.

Malgré un potentiel intéressant, la géothermie n'apparaît pas être une solution adéquate pour le projet.

2.3. Définition des ambitions et des stratégies énergétiques

Les éléments essentiels qui structurent les stratégies proposées sont les suivants :

- Les logements sont essentiellement des maisons individuelles et sont répartis sur une zone étendue.
- Un phasage étalé dans le temps
- Des bâtiments performants : - 20 % par rapport à la réglementation thermique en vigueur
- Le territoire est engagé dans une démarche TEPOS

Caractéristiques	Atouts	Contraintes
Nombreuses maisons individuelles	Surface de toiture importante	Mutualisation des systèmes de production difficile
Ferme urbaine	Production de déchets organiques pour l'unité de méthanisation voisine	
Démarche TEPOS	Territoire volontariste et dynamique	
Densité raisonnée	Foncier disponible	Mise en réseau et mutualisation des systèmes de production très difficile
Bâtiments performants	Besoins de chauffage limités	Besoins d'ECS et d'électricité peu variables en fonction de la qualité de l'enveloppe
Phasage étalé dans le temps	Nombreux bâtiments construits sur la base de la future RBR 2020	Mise en réseau et mutualisation des systèmes de production très difficile

FIGURE 12 : CARACTERISTIQUES DU PROJET

La stratégie est donc de favoriser les systèmes énergétiques individuels ou mutualisés à petite échelle, permettant avant tout de satisfaire les besoins d'ECS et d'électricité, le chauffage étant réduit par les performances des bâtiments.

De ces observations découlent les scénarios énergétiques suivants :

- Scénario réglementaire (référence) :
 - o Maisons individuelles : chauffage par chaudière gaz et ECS par ballon thermodynamique en maison individuelle.
 - o Logements intermédiaires : chaudière à condensation gaz individuelle pour chaque logement.
- Scénario peu ambitieux, solaire hybride :
 - o Maisons individuelles : chauffage par chaudière gaz et ECS par solaire hybride (appoint par la chaudière gaz).
 - o Logements intermédiaires : chauffage par chaudière gaz collective et ECS par solaire hybride (appoint par la chaudière gaz).

- Scénario ambitieux, démarche TEPOS partielle :
 - Maisons individuelles : chauffage par chaudière gaz et ECS par solaire hybride (appoint par la chaudière gaz), utilisation des toitures disponibles pour l'installation de solaire photovoltaïque.
 - Logements intermédiaires : chauffage par chaudière gaz collective et ECS par solaire hybride (appoint par la chaudière gaz), utilisation des toitures disponibles pour l'installation de solaire photovoltaïque.
- Scénario ambitieux, échelle quartier :
 - Maisons individuelles : chauffage et ECS par chaudière bois mutualisée avec les logements les plus proches (3 à 10 logements).
 - Logements intermédiaires : chauffage et ECS par chaudière bois mutualisée avec les logements les plus proches (3 à 10 logements).
- Scénario très ambitieux, vers l'autonomie du quartier :
 - Maisons individuelles : chauffage et ECS par chaudière bois mutualisée avec les logements les plus proches (3 à 10 logements) utilisation des toitures disponibles pour l'installation de solaire photovoltaïque.
 - Logements intermédiaires : chauffage et ECS par chaudière bois mutualisée avec les logements les plus proches (3 à 10 logements) utilisation des toitures disponibles pour l'installation de solaire photovoltaïque.

2.4. Quelques illustrations des systèmes énergétiques proposés

2.4.1. Solaire hybride

Les réalisations de Dualsun, fabricant français

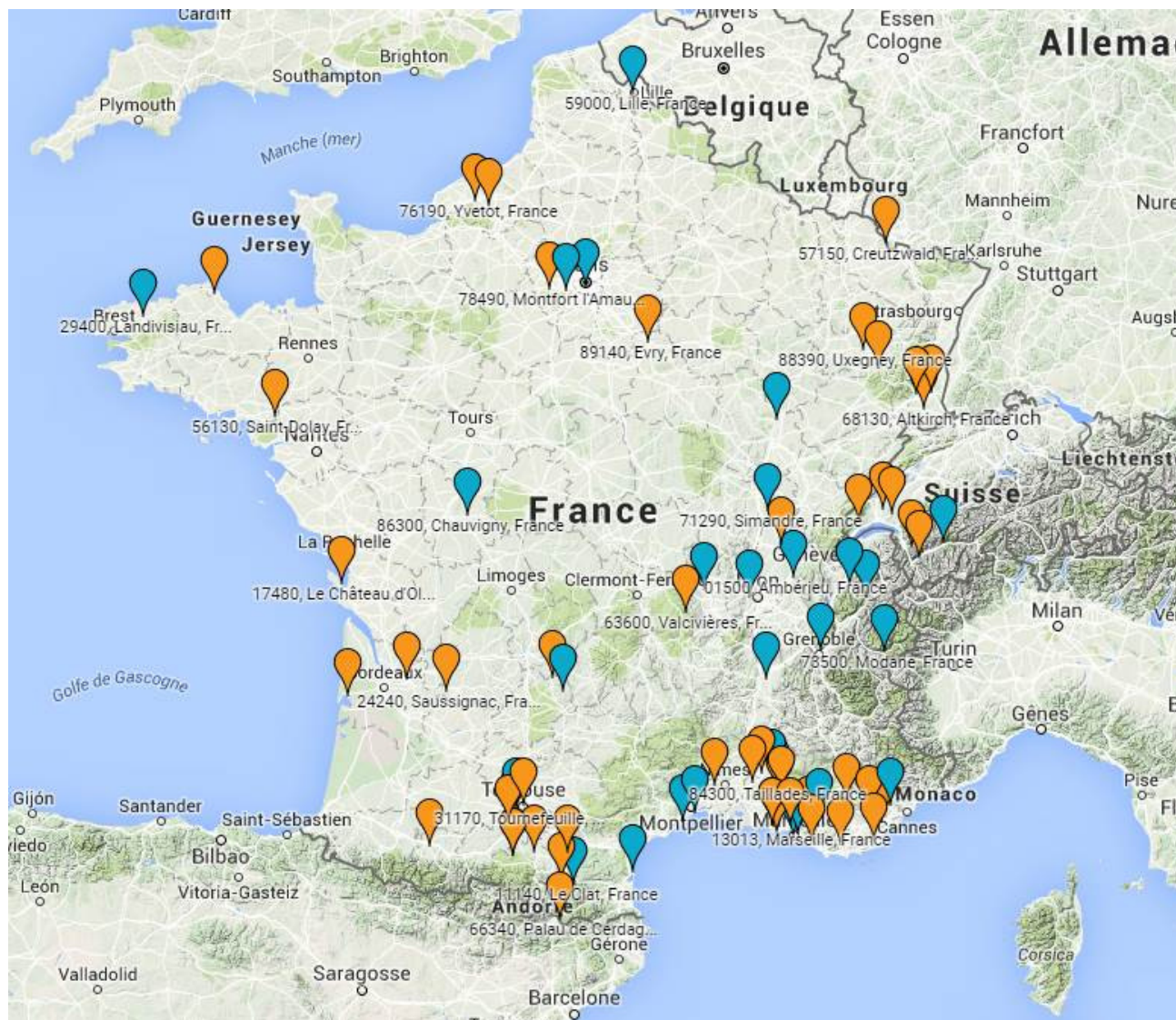


FIGURE 13 : CARTE DES INSTALLATIONS DE SOLAIRE HYBRIDE – DUALSUN

Retour d'instrumentation d'une installation



Description du système :

- 6 panneaux DualSun,
- Orientation Sud-Ouest (20°/ Sud),
- Inclinaison 30°,
- Installation en intégration au bâti (système EASY ROOF),
- Ballon solaire de 300L pour 4 personnes dans la maison,
- Chaudière gaz en appoint.

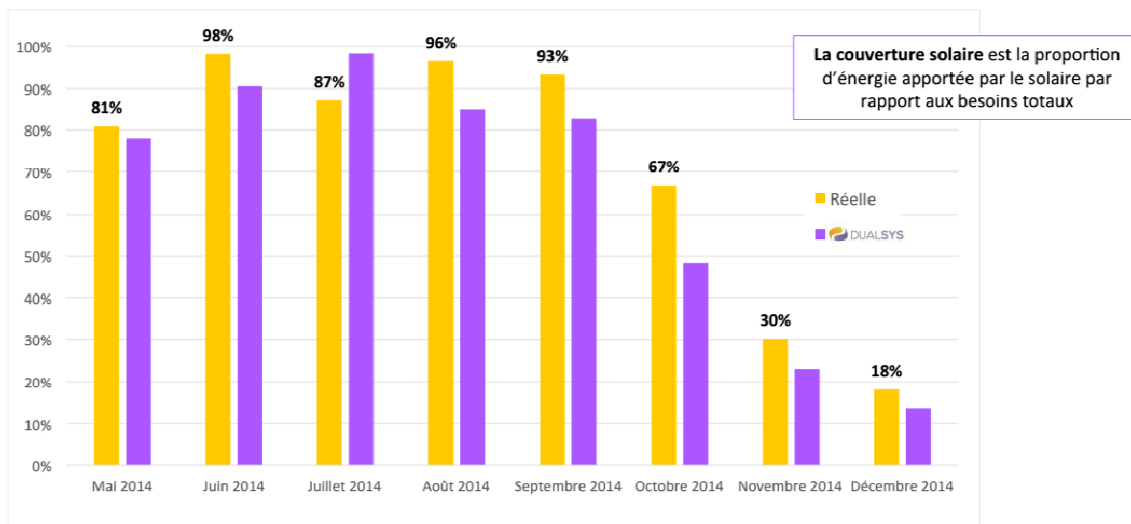
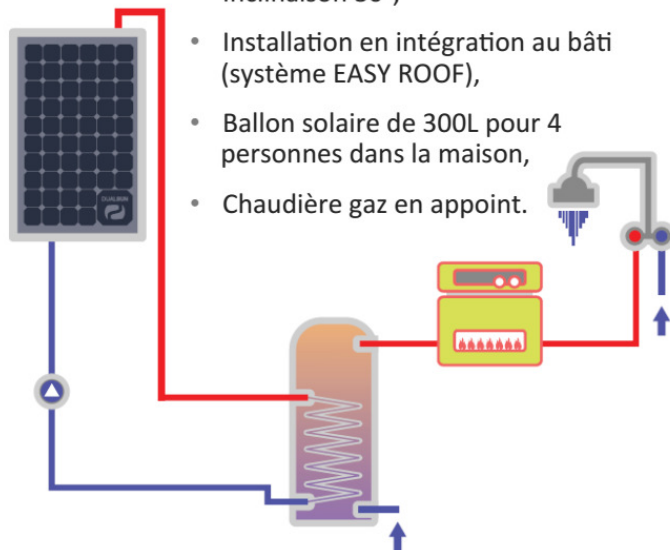


FIGURE 14 : TAUX DE COUVERTURE DES BESOINS D'ECS PAR LE SOLAIRE

Les données réelles coïncident avec les prévisions du fabricant.

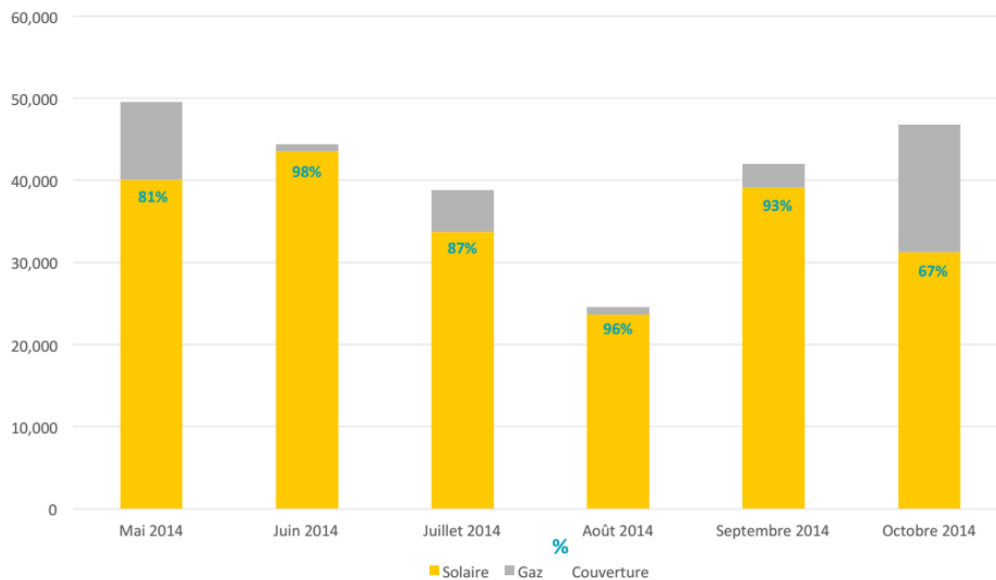


FIGURE 15 : PRODUCTIONS GAZ ET SOLAIRE MENSUELLES

Pendant l'été (juin – septembre), le solaire couvre 94 % des besoins. Le système permet une quasi-autonomie sur cette période.

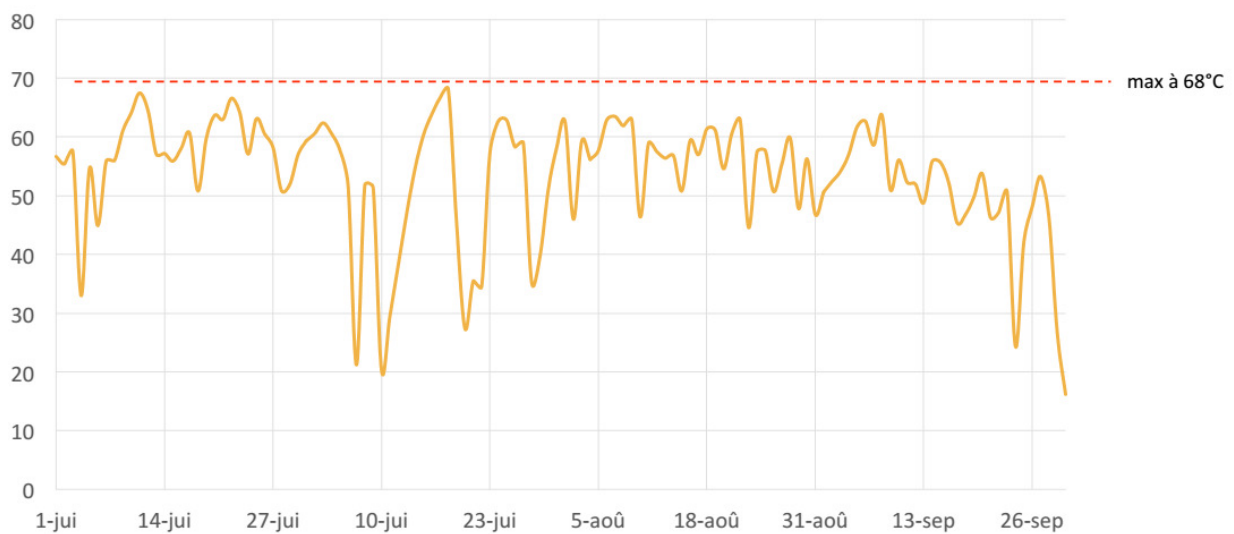


FIGURE 16 : TEMPÉRATURE MAXIMALE DES PANNEAUX

La température des panneaux ne dépasse pas 68 °C, il n'y a donc pas de risque de surchauffe

Exemples d'implantations sur des logements



FIGURE 17 : INSTALLATION SOLAIRE HYBRIDE SUR UNE MAISON — SAONE ET LOIRE



FIGURE 18 : INSTALLATION SOLAIRE HYBRIDE SUR UNE MAISON — YONNE



FIGURE 19 : INSTALLATION SOLAIRE HYBRIDE SUR DES LOGEMENTS INTERMEDIAIRES — AIN

2.4.2. Bois énergie



FIGURE 20 : CHAUFFERIE BOIS POUR UN ENSEMBLE DE LOGEMENTS — HAUTE-LOIRE



FIGURE 21 : CHAUFFERIE BOIS D'UN MINI-RESEAU DE CHALEUR — ORNE



FIGURE 22 : INSTALLATION COMPLETE : CHAUDIERE, BALLON DE STOCKAGE ET SILO DE 4 TONNES - AVEYRON

3. ANALYSE DES SCENARIOS ENERGETIQUES

3.1. Hypothèses

Ressource	Tarif	Cout de l'énergie + abonnement (€/kWh)	Variation Annuelle (%)
Electricité	Electricité domestique	0,16	4,80%
	Electricité entreprise	0,12	5,00%
	Electricité industriels	0,1	5,00%
Gaz	Gaz naturel domestique	0,06	4,00%
	Gaz naturel entreprise/professionnel	0,05	4,00%
Bois	Granulés en vrac	0,05	3,00%
	Plaquettes forestières	0,02	3,00%

FIGURE 23 : HYPOTHESES ECONOMIQUES — COUTS DES ENERGIES

Ressource	Ratio EP/EF	Emissions GES (g eq CO2/kWh)	Emissions SO2 (g/kWh)	Emissions NOx (g/kWh)	Déchets nucléaires FMA (g/kWh)	Déchets nucléaires HA (g/kWh)	% EnR
Electricité	3,15	180	0,89	0,47	0,05	0,01	13,60%
Gaz	1,1	234	0,00	0,17	0	0,00	0,03%
Bois	0,3	0	0,00	0,32	0	0,00	100%

FIGURE 24 : HYPOTHESES ECONOMIQUES — INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX

Type d'installation		Tarifs en vigueur pour les installations dont la demande complète de raccordement a été envoyée :	
		entre le 1er janvier 2016 et le 31 mars 2016	entre le 1er avril 2016 et le 30 juin 2016
Intégrée au bâti ¹	[0-9kW]	25,01 c€/kWh	24,63 c€/kWh
Intégrée simplifiée au bâti ¹	[0-36kW]	13,82 c€/kWh	13,27 c€/kWh
	[36-100kW]	13,13 c€/kWh	12,61 c€/kWh
Tout type d'installation	[0-12MW]	5,96 c€/kWh	5,80 c€/kWh

¹ Les critères techniques d'intégration au bâti et d'intégration simplifiée au bâti sont définis à l'Annexe 2 de l'arrêté du 4 mars 2011 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil telles que visées au 3° de l'article 2 du décret n° 2000-1196 du 6 décembre 2000 (à consulter sur [Légifrance](#))

FIGURE 25 : TARIFS DE VENTE DE L'ELECTRICITE PHOTOVOLTAÏQUE

3.2. Transcription opérationnelle des objectifs

Le projet de la ZAC Clos de la Pointe présente la particularité d'intégrer de nombreux lots dédiés à la construction individuelle par les particuliers. Cela rend difficile la traduction opérationnelle d'une stratégie plus globale. Il sera donc important de veiller tout au long du projet à la cohérence entre la stratégie globale et la conception individuelle de chaque bâtiment, aussi bien en termes de sobriété énergétique que de systèmes énergétiques. Ces objectifs devront être inscrits dans les CCCT afin de garantir que l'objectif énergétique global de la ZAC soit atteint.

3.3. Scénario de référence

3.3.1. Description du scénario

Le scénario de référence est le scénario qui sert de base de comparaison aux autres scénarios. Il correspond à un **niveau réglementaire** avec un **investissement restreint**. Des **chaudières gaz individuelles** sont donc installées pour assurer le chauffage (maisons individuelles et logements intermédiaires) et l'ECS (logements intermédiaires seulement).

La RT 2012 oblige les maisons individuelles à avoir une production d'énergie renouvelable. Des **chauffe-eau thermodynamiques** sont donc prévus pour la production d'ECS.

Les besoins électriques sont assurés par le réseau national.

	Chauffage	ECS	Electricité
Maisons individuelles	Chaudière condensation individuelle	Ballon ECS thermodynamique	Réseau national
Logements intermédiaires	Chaudière condensation individuelle		Réseau national

FIGURE 26 : SCENARIO DE REFERENCE - DESCRIPTION

3.3.2. Chaleur

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	2 111 000
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	2 111 000
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	104
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	35
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	7

FIGURE 27 : SCENARIO REFERENCE – BILAN ECONOMIQUE - CHALEUR

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	3 316
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	3 316
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	473
Entretien moyen (€ TTC/an)	158
Maintenance moyen (€ TTC/an)	33

FIGURE 28 : SCENARIO REFERENCE – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE - CHALEUR

Malgré un investissement restreint, le coût global de ce scénario en moyenne sur 25 ans est relativement élevé. Cela s'explique par le coût du gaz, et son augmentation sur cette période.

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWh/an)	3 009
Consommation d'énergie finale (MWh/an)	2 048
Part d'EnR sur le bilan global	31%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	104%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	459
Émissions de SO ₂ (t/an)	0
Émissions de NOx (t/an)	0
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	18
Déchets nucléaires HA (kg/an)	4

FIGURE 29 : SCENARIO REFERENCE – BILAN ENVIRONNEMENTAL – CHALEUR

Le recours majoritaire au gaz permet de limiter la consommation d'énergie primaire, et le chauffe-eau thermodynamique permet d'atteindre 31 % d'EnR dans le mix énergétique de la chaleur (chauffage et ECS).

3.3.3. Electricité

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	0
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	0
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	325
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	0
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	0

FIGURE 30 : SCENARIO REFERENCE – BILAN ECONOMIQUE - ELECTRICITE

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	0
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	0
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	944
Entretien moyen (€ TTC/an)	0
Maintenance moyen (€ TTC/an)	0

FIGURE 31 : SCENARIO REFERENCE – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE - ELECTRICITE

Malgré un investissement nul (réseau électrique français), le coût global de ce scénario en moyenne sur 25 ans est relativement élevé. Cela s'explique par le coût élevé de l'électricité, et son augmentation sur cette période.

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWh/an)	5 434
Consommation d'énergie finale (MWh/an)	1 725
Part d'EnR sur le bilan global	14%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	315%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	311
Émissions de SO ₂ (t/an)	2
Émissions de NOx (t/an)	1
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	86
Déchets nucléaires HA (kg/an)	17

FIGURE 32 : SCENARIO REFERENCE – BILAN ENVIRONNEMENTAL - ÉLECTRICITÉ

Le mix électrique français (environ 74 % nucléaire et 14 % d'énergie renouvelable), permet d'atteindre des émissions de GES relativement faibles. Cependant, la consommation d'énergie primaire est quant à elle très importante

3.3.4. Global

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	2 111 000
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	2 111 000
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	186
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	22
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	5

FIGURE 33 : SCENARIO REFERENCE – BILAN ECONOMIQUE - GLOBAL

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	3 316
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	3 316
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	849
Entretien moyen (€ TTC/an)	99
Maintenance moyen (€ TTC/an)	21

FIGURE 34 : SCENARIO REFERENCE – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE - GLOBAL

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	8 443
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	3 773
Part d'EnR sur le bilan global	23%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	182%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	770
Émissions de SO ₂ (t/an)	1,9
Émissions de NO _x (t/an)	1,3
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	105
Déchets nucléaires HA (kg/an)	21

FIGURE 35 : SCENARIO REFERENCE – BILAN ENVIRONNEMENTAL - GLOBAL

3.3.5. Mise en œuvre

La mise en œuvre de cette solution est relativement simple et classique : chaque porteur de projet (individuel ou promoteur) choisit les systèmes techniques pour répondre à la réglementation et aux contraintes du projet. Il investit ensuite dans ces systèmes. Dans le cadre de la construction par un promoteur, celui se détache de la gestion des équipements à partir du moment où la vente est effective. La gestion est donc à la charge des usagers par la suite (ou du syndic dans cas des logements intermédiaire).

3.4. Scénario peu ambitieux : solaire hybride

3.4.1. Description du scénario

Relativement similaire au scénario de référence, ce scénario va plus loin sur la production d'énergie pour les besoins d'ECS en utilisant des panneaux solaires hybrides. Ils permettent de couvrir **50 % des besoins d'ECS** annuels par le solaire (ce qui correspond à **3 m² de panneaux par maison individuelle et 1,5 m² par logement intermédiaire**). L'implantation des panneaux solaires hybrides est limitée à ces seuils, car au-delà, la production thermique en période estivale serait trop importante par rapport à la consommation. Or si la production est supérieure à la consommation, le système n'évacue pas suffisamment de chaleur, ce qui entraîne des risques de surchauffes et donc de dégradations de l'installation. En plus de cette production thermique, les panneaux hybrides permettent une production électrique.

Cette production fait l'objet d'une vente à EDF, mais à terme, en fonction de l'évolution du prix de l'électricité du réseau national et du tarif d'achat de l'électricité photovoltaïque, il est tout à fait possible d'envisager une autoconsommation partielle avec vente du surplus uniquement au réseau électrique national.

	Chauffage	ECS	Electricité
Maisons individuelles	Chaudière condensation individuelle	Solaire hybride + chaudière condensation individuelle	Solaire hybride + réseau national
Logements intermédiaires	Chaudière condensation collective	Solaire hybride + chaudière condensation collective	Solaire hybride + réseau national

FIGURE 36 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE - DESCRIPTION

3.4.2. Chaleur

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	2 534 512
Subventions (€)	69 523
Investissement non subventionné (€ TTC)	2 464 989
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	76
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	41
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	9
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	14

FIGURE 37 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE – BILAN ECONOMIQUE - CHALEUR

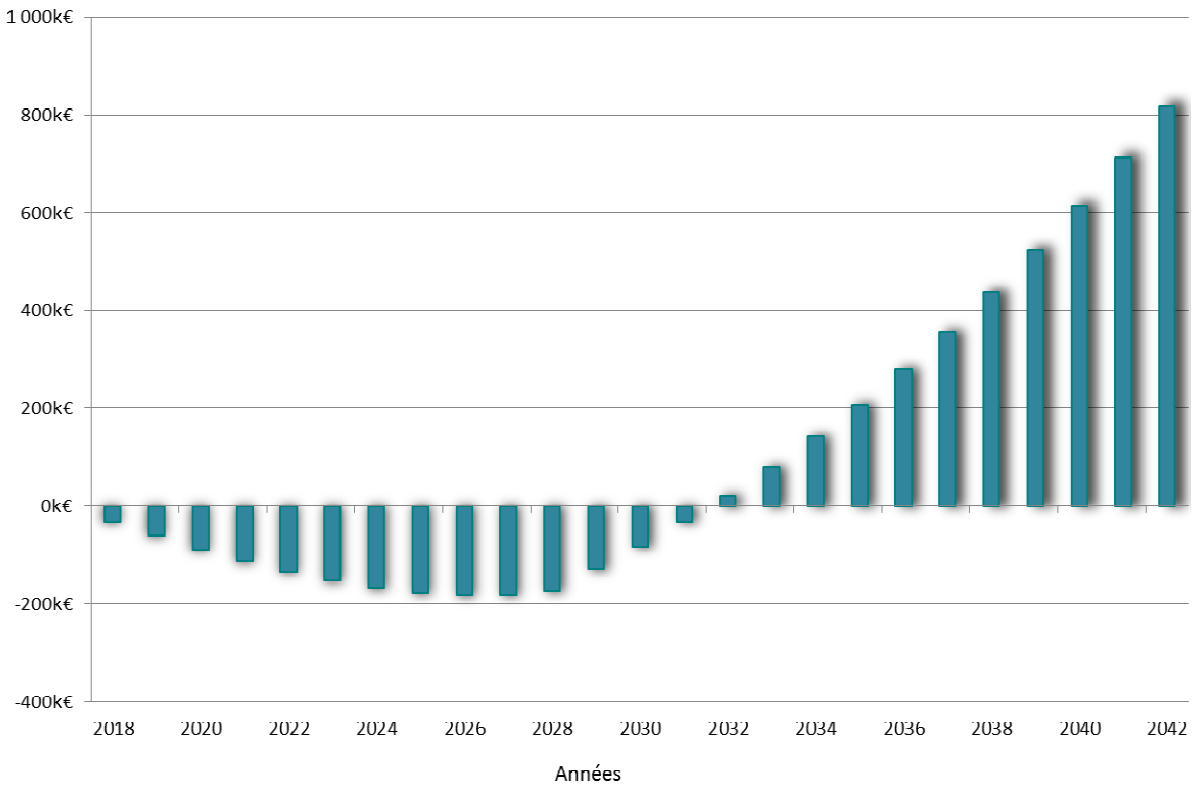


FIGURE 38 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE – VALEUR ACTUELLE NETTE – CHALEUR

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	3 981
Subventions (€)	109
Investissement non subventionné (€ TTC)	3 872
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	345
Entretien moyen (€ TTC/an)	188
Maintenance moyen (€ TTC/an)	40

FIGURE 39 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE – CHALEUR

L'investissement plus important est amorti grâce aux économies réalisées sur la fourniture d'énergie (par le solaire thermique). Le temps de retour est de 14 ans.

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWh _{ep} /an)	2 236
Consommation d'énergie finale (MWh _{ef} /an)	2 770
Part d'EnR sur le bilan global	30%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	77%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	476
Émissions de SO ₂ (t/an)	0
Émissions de NO _x (t/an)	0,3
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	0
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0

FIGURE 40 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE – BILAN ENVIRONNEMENTAL - CHALEUR

Le recours majoritaire au gaz permet de limiter la consommation d'énergie primaire, et le solaire thermique permet d'atteindre 30 % d'EnR dans le mix énergétique de la chaleur (chauffage et ECS).

3.4.3. Electricité

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	1 158 720
Subventions (€)	69 523
Investissement non subventionné (€ TTC)	1 089 197
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	272
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	1
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	7
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	20

FIGURE 41 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE – BILAN ECONOMIQUE – ELECTRICITE

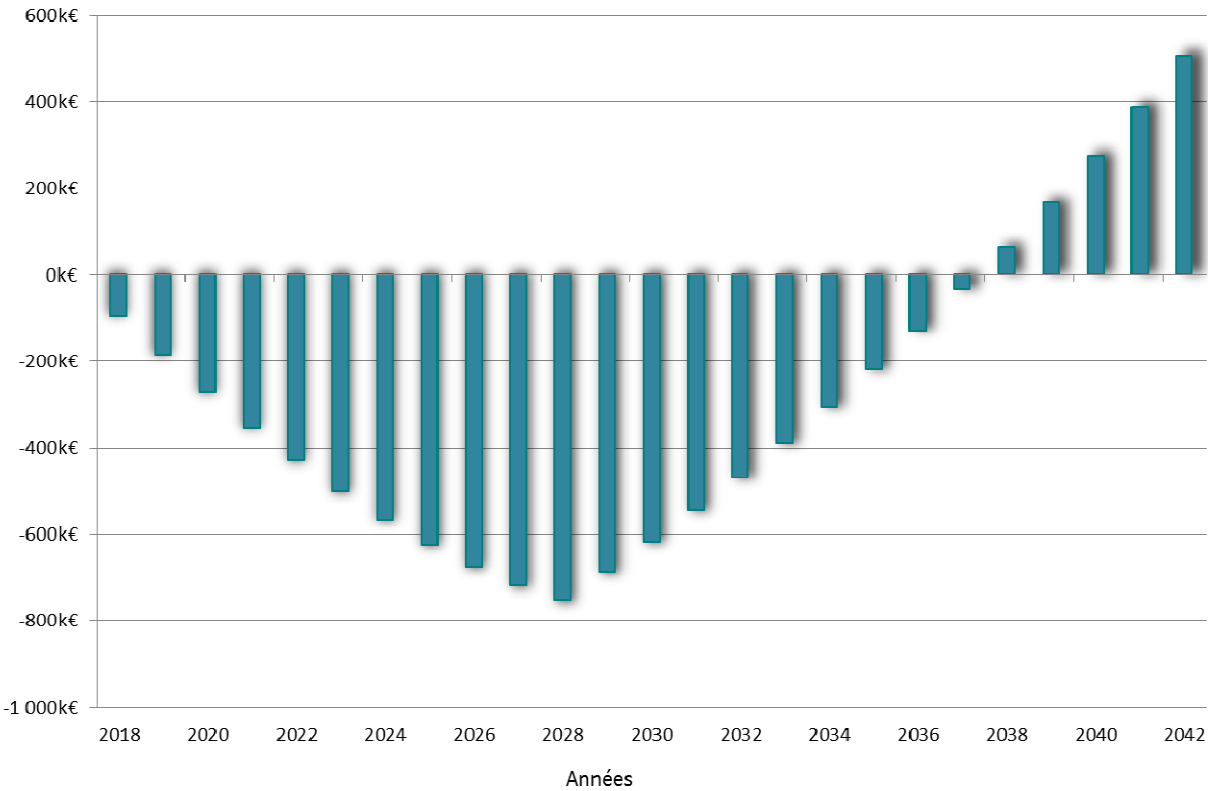


FIGURE 42 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE – VALEUR ACTUELLE NETTE – ÉLECTRICITE

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	1 820
Subventions (€)	109
Investissement non subventionné (€ TTC)	1 711
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	789
Entretien moyen (€ TTC/an)	2
Maintenance moyen (€ TTC/an)	20

FIGURE 43 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE – ELECTRICITE

L'investissement plus important est amorti grâce à la vente d'électricité à un tarif avantageux (tarif intégré pour les installations de moins de 9kWc). Le temps de retour est de 20ans.

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWh/an)	4 717
Consommation d'énergie finale (MWh/an)	1 725
Part d'EnR sur le bilan global	25%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	273%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	270
Émissions de SO ₂ (t/an)	1,3
Émissions de NO _x (t/an)	0,7
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	75
Déchets nucléaires HA (kg/an)	15

FIGURE 44 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE – BILAN ENVIRONNEMENTAL – ELECTRICITE

Le photovoltaïque permet de couvrir partiellement les besoins électriques (environ 10 %), ce qui permet de réduire d'autant l'impact des consommations électriques.

3.4.4. Global

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	3 693 232
Subventions (€)	139 046
Investissement non subventionné (€ TTC)	3 554 186
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	149
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	26
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	8
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	18

FIGURE 45 : SCENARIO HYBRIDE – BILAN ECONOMIQUE - GLOBAL

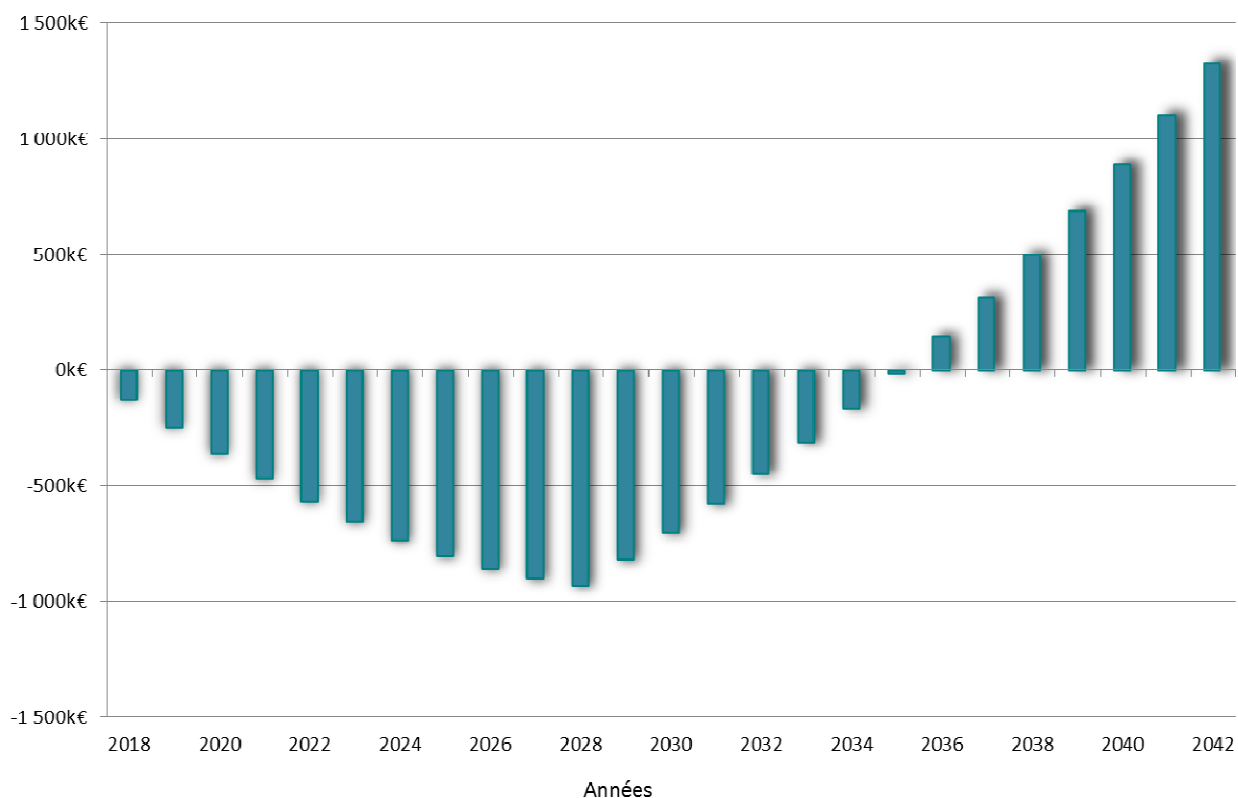


FIGURE 46 : SCENARIO HYBRIDE – VALEUR ACTUELLE NETTE - GLOBAL

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	5 801
Subventions (€)	218
Investissement non subventionné (€ TTC)	5 583
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	678
Entretien moyen (€ TTC/an)	119
Maintenance moyen (€ TTC/an)	36

FIGURE 47 : SCENARIO HYBRIDE – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE - GLOBAL

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWh _{ep} /an)	6 953
Consommation d'énergie finale (MWh _{ef} /an)	4 495
Part d'EnR sur le bilan global	28%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	150%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	745
Émissions de SO ₂ (t/an)	1,3
Émissions de NO _x (t/an)	1,0
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	75
Déchets nucléaires HA (kg/an)	15

FIGURE 48 : SCENARIO HYBRIDE – BILAN ENVIRONNEMENTAL - GLOBAL

3.4.5. Mise en œuvre

La mise en œuvre de cette solution est également simple et classique : chaque porteur de projet (individuel ou promoteur) investit dans les systèmes dédiés à son bâtiment (il a cependant moins le choix dans les systèmes, puisque les contraintes de la ZAC orientent ce choix vers le solaire hybride). Dans le cadre de la construction par un promoteur, celui se détache de la gestion des équipements à partir du moment où la vente est effective. La gestion est donc à la charge des usagers par la suite (ou du syndic dans cas des logements intermédiaire).

Une gestion des équipements mutualisée peut néanmoins être envisagée pour la maintenance des panneaux solaires hybrides. Il convient donc de mettre en place une AFUL (Association Foncière Urbaine Libre) pour favoriser cette gestion. Les propriétaires individuels et promoteurs adhèrent à cette AFUL, les promoteurs cèdent leur adhésion lors de la revente des biens. Il est par ailleurs pertinent de prévoir obligation d'adhésion à l'AFUL dans le CCCT (Cahier des Charges de Cession de Terrain).

3.5. Scénario ambitieux pour le territoire : solaire hybride et photovoltaïque

3.5.1. Description du scénario

Par rapport au scénario précédent, où seuls quelques m² de panneaux solaires hybrides étaient installés, ce scénario valorise au mieux le potentiel que représentent les toitures pentes dirigées vers le sud. Ainsi, dans la limite de la faisabilité (orientation correcte, émergence de systèmes techniques, taille des toitures), l'ensemble du **potentiel photovoltaïque** est utilisé en installant des panneaux sur les toitures des bâtiments.

Cela ne représente pas un apport supplémentaire directement pour le quartier (dans le sens où les besoins de chaud sont produits de la même manière), mais du point de vue de la **démarche TEPOS** dans laquelle est engagé le territoire, la plus-value est très intéressante.

En effet, de par la typologie du projet (nombreuses maisons individuelles) le potentiel photovoltaïque est important à la fois grâce à la surface de toiture disponible (ratio surface de toiture disponible/surface construite élevé) et par l'absence de masque solaire (faible hauteur des constructions et faible densité).

Les hypothèses prises pour calculer la surface disponible pour le photovoltaïque sont :

- Des toitures avec une pente de 30 °
- Les maisons individuelles sont sur 2 niveaux
- Les logements intermédiaires sont sur 2 niveaux
- 50 % des toitures sont orientées vers le sud
- 80 % des toitures orientées vers le sud sont exploitables
- 80 % de la surface des toitures exploitables bien orientées sont disponibles pour l'installation de panneaux solaires
- Les panneaux solaires hybrides occupent la même surface que pour le scénario précédent

	Chauffage	ECS	Electricité
Maisons individuelles	Chaudière condensation individuelle	Solaire hybride + chaudière condensation individuelle	Solaire hybride + solaire photovoltaïque + réseau national
Logements intermédiaires	Chaudière condensation collective	Solaire hybride + chaudière condensation collective	Solaire hybride + solaire photovoltaïque + réseau national

FIGURE 49 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE + PV – DESCRIPTION

3.5.2. Chaleur

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	2 534 512
Subventions (€)	69 523
Investissement non subventionné (€ TTC)	2 464 989
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	76
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	41
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	9
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	14

FIGURE 50 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE +PV – BILAN ECONOMIQUE – CHALEUR

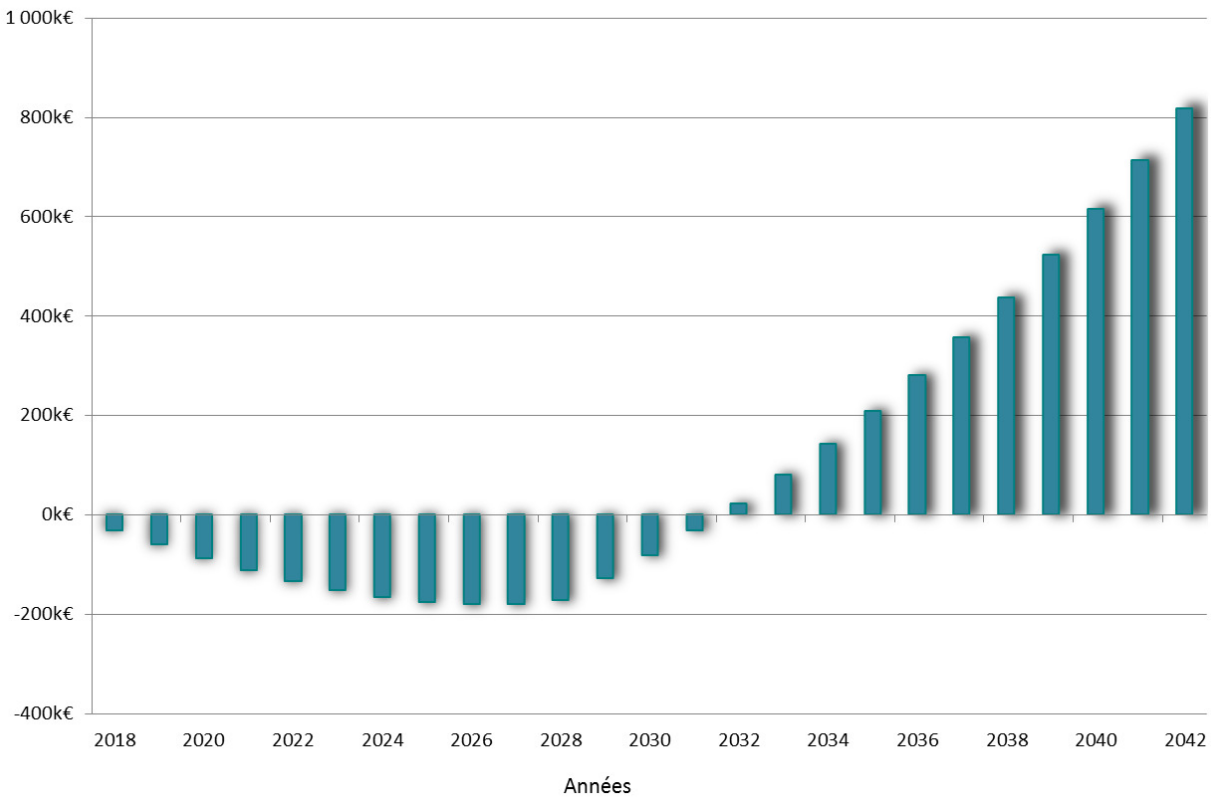


FIGURE 51 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE +PV – VALEUR ACTUELLE NETTE – CHALEUR

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	3 981
Subventions (€)	109
Investissement non subventionné (€ TTC)	3 872
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	345
Entretien moyen (€ TTC/an)	188
Maintenance moyen (€ TTC/an)	40

FIGURE 52 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE +PV – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE – CHALEUR

L'investissement plus important est amorti grâce aux économies réalisées sur la fourniture d'énergie (par le solaire thermique). Le temps de retour est de 14 ans.

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWh _{ep} /an)	2 236
Consommation d'énergie finale (MWh _{ef} /an)	2 770
Part d'EnR sur le bilan global	30%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	77%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	476
Émissions de SO ₂ (t/an)	0
Émissions de NO _x (t/an)	0,3
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	0
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0

FIGURE 53 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE +PV – BILAN ENVIRONNEMENTAL – CHALEUR

Le recours majoritaire au gaz permet de limiter la consommation d'énergie primaire, et le solaire thermique permet d'atteindre 30 % d'EnR dans le mix énergétique de la chaleur (chauffage et ECS).

3.5.3. Electricité

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	8 997 760
Subventions (€)	69 523
Investissement non subventionné (€ TTC)	8 928 237
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	-80
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	6
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	34
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	20

FIGURE 54 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE +PV – BILAN ECONOMIQUE – ELECTRICITE

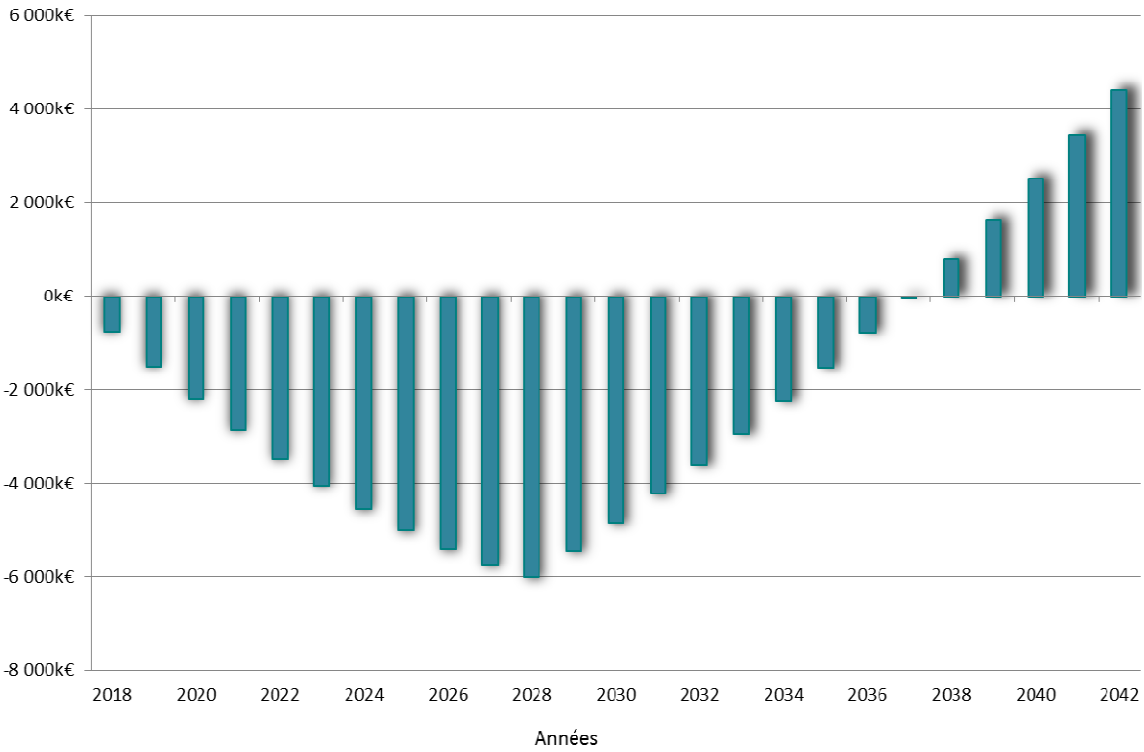


FIGURE 55 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE +PV – VALEUR ACTUELLE NETTE – ELECTRICITE

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	14 134
Subventions (€)	109
Investissement non subventionné (€ TTC)	14 025
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	-232
Entretien moyen (€ TTC/an)	16
Maintenance moyen (€ TTC/an)	100

FIGURE 56 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE +PV – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE – ELECTRICITE

L'investissement plus important est amorti grâce à la vente d'électricité à un tarif avantageux (tarif intégré pour les installations de moins de 9kWc). Le temps de retour est de 20ans.

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWh _{ep} /an)	-2 826
Consommation d'énergie finale (MWh _{ef} /an)	1 725
Part d'EnR sur le bilan global	100%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	-164%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	-161
Émissions de SO ₂ (t/an)	-0,8
Émissions de NO _x (t/an)	-0,4
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	-45
Déchets nucléaires HA (kg/an)	-9

FIGURE 57 : SCENARIO SOLAIRE HYBRIDE +PV – BILAN ENVIRONNEMENTAL – ELECTRICITE

Le photovoltaïque permet de couvrir tous les besoins électriques et même de produire un surplus qui peut bénéficier au territoire. Cela permet d'éviter aux installations du réseau de produire de l'électricité, ce qui explique les valeurs négatives de certains impacts environnementaux.

3.5.4. Global

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	11 532 272
Subventions (€)	139 046
Investissement non subventionné (€ TTC)	11 393 226
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	18
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	28
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	18
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	19

FIGURE 58 : SCENARIO HYBRIDE + PV – BILAN ECONOMIQUE - GLOBAL

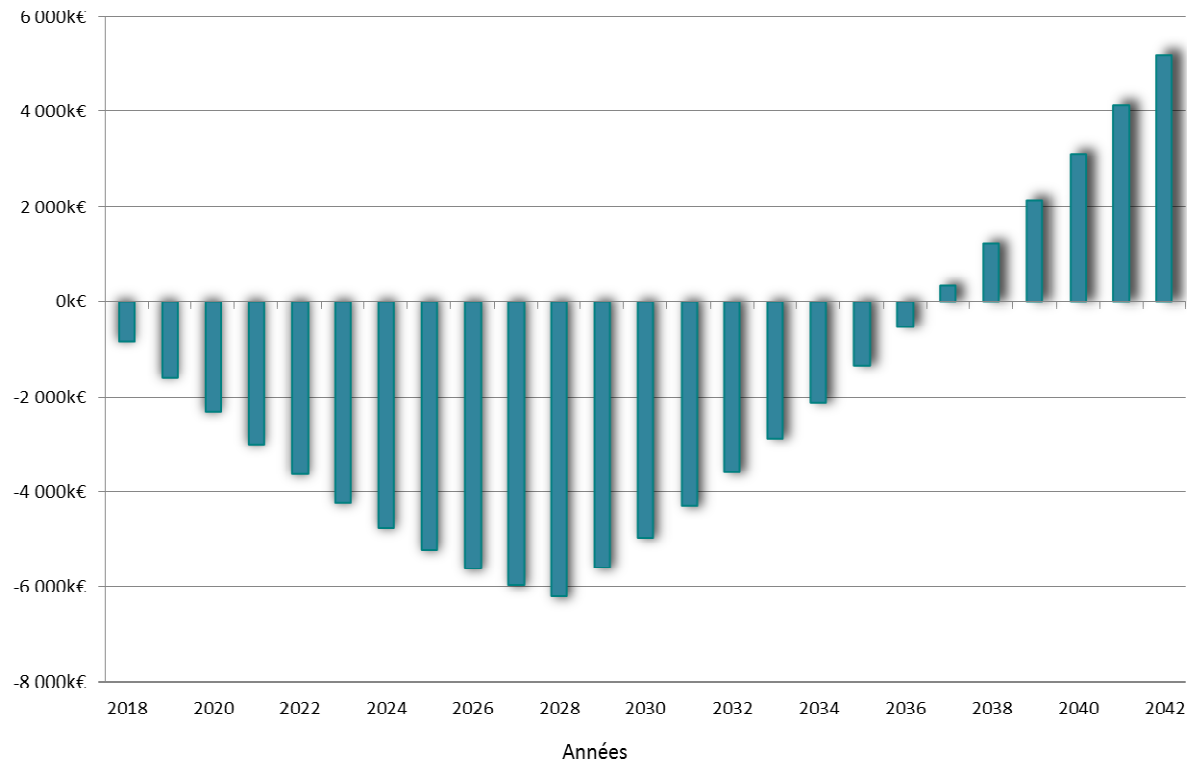


FIGURE 59 : SCENARIO HYBRIDE + PV – VALEUR ACTUELLE NETTE - GLOBAL

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	18 115
Subventions (€)	218
Investissement non subventionné (€ TTC)	17 897
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	80
Entretien moyen (€ TTC/an)	127
Maintenance moyen (€ TTC/an)	83

FIGURE 60 : SCENARIO HYBRIDE + PV – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE - GLOBAL

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	-590
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	4 495
Part d'EnR sur le bilan global	57%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	-13%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	314
Émissions de SO ₂ (t/an)	-1
Émissions de NOx (t/an)	0
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	-45
Déchets nucléaires HA (kg/an)	-9

FIGURE 61 : SCENARIO HYBRIDE + PV – BILAN ENVIRONNEMENTAL - GLOBAL

3.5.5. Mise en œuvre

Montage individuel

La mise en œuvre de cette solution est également simple et classique : chaque porteur de projet (individuel ou promoteur) investit dans les systèmes dédiés à son bâtiment (il a cependant moins le choix dans les systèmes, puisque les contraintes de la ZAC orientent ce choix vers le solaire hybride). Dans le cadre de la construction par un promoteur, celui-ci se détache de la gestion des équipements à partir du moment où la vente est effective. La gestion est donc à la charge des usagers par la suite (ou du syndic dans cas des logements intermédiaire).

Investissement individuel, gestion mutualisée

Une gestion des équipements mutualisée peut néanmoins être envisagée pour la maintenance des panneaux solaires hybrides. Il convient donc de mettre en place une AFUL (Association Foncière Urbaine Libre) pour favoriser cette gestion. Les propriétaires individuels et promoteurs adhèrent à cette AFUL, les promoteurs cèdent leur adhésion lors de la revente des biens. Il est par ailleurs pertinent de prévoir une obligation d'adhésion à l'AFUL dans le CCCT (Cahier des Charges de Cession de Terrain).

Il est préférable que l'investissement pour les panneaux solaires soit réalisé de manière individuel, afin d'avoir un contrat de vente de l'électricité à EDF par installation. Cela permet en effet d'avoir des puissances raccordées unitaires faibles, ce qui assure de bénéficier du tarif de vente de l'électricité photovoltaïque le plus avantageux.

Investissement et gestion mutualisés (pour le photovoltaïque uniquement)

Néanmoins, dans le cas où le choix de favoriser l'autoconsommation à l'échelle du quartier serait fait, il pourrait être envisagé un investissement par une entité unique, qui gèrerait par la suite les installations photovoltaïques. Il s'agit d'un mode de fonctionnement proche des Centrales Villageoises. Pour ce mode d'investissement, il convient de créer une société dans laquelle les propriétaires auront des parts. Le portage financier peut être à la charge de l'aménageur qui investit dans les toitures mises à dispositions par les propriétaires et promoteurs. Une fois l'investissement réalisé, l'aménageur revend ses parts aux propriétaires au fur et à mesure.

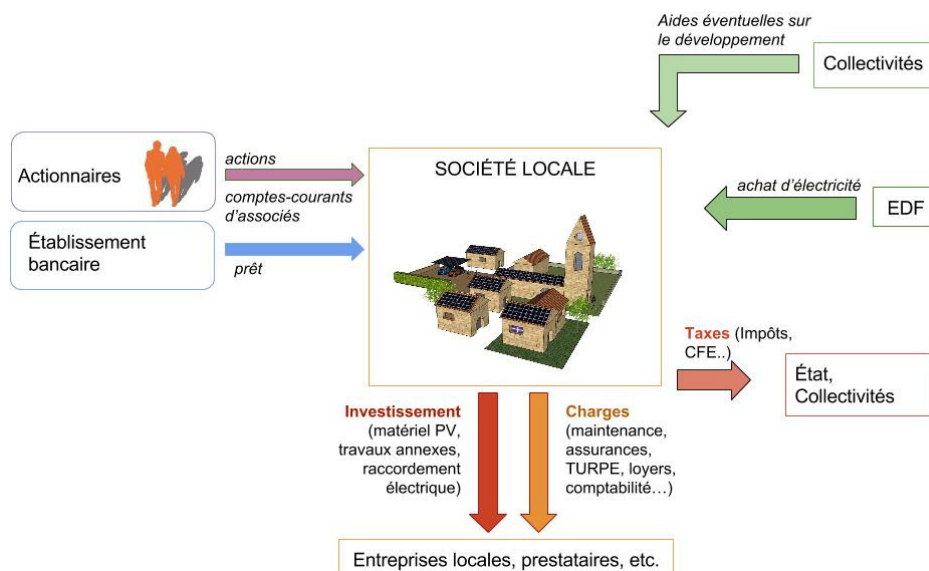


FIGURE 62 : FLUX FINANCIERS D'UNE CENTRALE VILLAGEOISE

Les différents statuts envisageables pour une centrale villageoise :

SARL	<p>Société de personnes limitée à 99 actionnaires et pilotée par 1 gérant (voir des cogérants) mais sans conseil d'administration. Droits de vote proportionnels au capital détenu. Simple à créer.</p> <p>Statut convenant pour porter une phase de développement avec un groupe restreint de souscripteurs mais mal adaptée à un montage intégrant un grand nombre de citoyens et une gouvernance partagée.</p>
SAS	<p>Fonctionnement entièrement régi dans les statuts, permettant d'organiser très soupagement la gouvernance (qui peut être coopérative par exemple). Pas de collectivités au capital. Simple à créer.</p> <p>Statut convenant pour porter un projet citoyen dès lors que les statuts sont suffisamment travaillés pour permettre une stabilité du capital, une gouvernance équilibrée, etc.</p>
SA	<p>Société plus complexe d'organisation (capital minimum, CAC, Conseil d'administration ou Directoire avec Conseil de surveillance, etc.) ne pouvant avoir de capital variable - Droits de vote proportionnels au capital sauf si actions de préférence.</p> <p>Statuts peu adaptés aux projets citoyens du fait de la lourdeur de gestion et de l'impossibilité d'avoir une gouvernance réellement coopérative.</p>
SEM	<p>Société à capitaux majoritairement publics (entre 51% et 85%) fonctionnement sur le modèle d'une SA - Objet social en lien avec les compétences des collectivités. La SEM doit avoir un objet propre et ne pas servir uniquement à capitaliser des filiales.</p> <p>Statuts peu adaptés pour porter en direct des projets citoyens mais intéressants pour capitaliser des sociétés de projets et permettre ainsi une participation indirecte des collectivités locales.</p>
SCIC	<p>Société Coopérative d'Intérêt Collectif devant s'adosser au modèle SA, SARL ou SAS (depuis la loi TECV). Collectivités possibles au capital (jusqu'à 50%) - Capital variable - Mise en réserve de la majorité des bénéfices.</p> <p>Statuts adaptés aux montages citoyens, plus particulièrement si des collectivités souhaitent être au capital.</p>

Un montage sous cette forme possède plusieurs avantages :

- Possibilité d'intégrer la collectivité et/ou l'aménageur dans le montage
- La présence de la collectivité et/ou de l'aménageur permet d'obtenir des prêts pour limiter l'apport financier de départ
- Simplicité pour les particuliers louant leur toiture
- Format et périmètre souple

3.6. Scénario ambitieux pour le quartier : bois énergie

3.6.1. Description du scénario

L'ambition de ce scénario est de satisfaire les besoins de chaleur par des énergies renouvelables, alors que les scénarios précédents faisaient appel au gaz. Le projet, de par les typologies de bâtiments prévus (maisons individuelles et logements intermédiaires), rend difficile la conception de cette solution. Elle est pertinente uniquement dans le cadre où il est possible de **mutualiser les moyens de production** (afin d'éviter la multiplication de systèmes individuels chers unitairement). D'après les premiers plans masse, il apparaît possible de mutualiser la production pour une dizaine de logements. Le travail de conception urbaine du projet devra tendre à favoriser ces regroupements si ce scénario est choisi.

La ressource la plus pertinente pour couvrir les besoins de chaleur apparaît être **le bois énergie**. La géothermie étant peu intéressante dans le cas où la mise en réseau à grande échelle est quasiment impossible sur ce projet, et l'absence de besoins de froid sur le projet ne permet pas d'optimiser la ressource et l'investissement.

	Chauffage	ECS	Electricité
Maisons individuelles	Chaudière bois mutualisée (groupement d'une dizaine de logements)		Réseau national
Logements intermédiaires	Chaudière bois mutualisée (groupement d'une dizaine de logements)		Réseau national

FIGURE 63 : SCENARIO BOIS ENERGIE - DESCRIPTION

3.6.2. Chaleur

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	3 414 400
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	3 414 400
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	86
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	22
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	12
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	23

FIGURE 64 : SCENARIO BOIS ENERGIE – BILAN ECONOMIQUE - CHALEUR

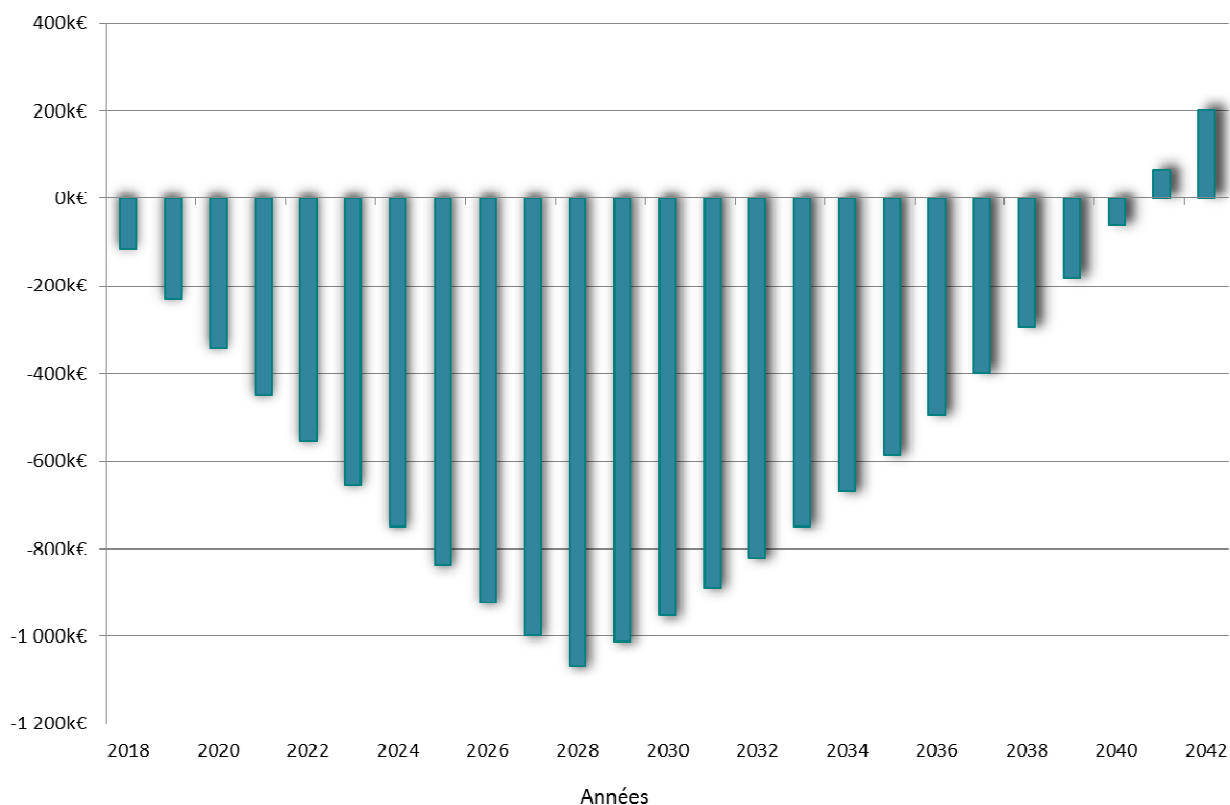


FIGURE 65 : SCENARIO BOIS ENERGIE – VALEUR ACTUELLE NETTE - CHALEUR

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	5 363
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	5 363
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	391
Entretien moyen (€ TTC/an)	101
Maintenance moyen (€ TTC/an)	54

FIGURE 66 : SCENARIO BOIS ENERGIE – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE - CHALEUR

Malgré un coût de la chaleur faible en moyenne sur 25 ans, l'investissement est tel, que la rentabilité de l'installation n'est atteinte qu'au bout de 23 ans. Sachant que le système a une durée de vie de l'ordre de 25 ans, cette stratégie comprend un risque.

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWh/an)	965
Consommation d'énergie finale (MWh/an)	3 217
Part d'EnR sur le bilan global	100%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	33%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	0
Émissions de SO ₂ (t/an)	0
Émissions de NO _x (t/an)	1,0
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	0
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0

FIGURE 67 : SCENARIO BOIS ENERGIE – BILAN ENVIRONNEMENTAL - CHALEUR

Du point de vue environnemental, le bois permet de couvrir les besoins de chaleur à 100 % par du renouvelable et de limiter la consommation d'énergie primaire de manière très importante.

3.6.3. Electricité

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	0
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	0
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	325
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	0
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	0
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	0

FIGURE 68 : SCENARIO BOIS ENERGIE – BILAN ECONOMIQUE - ÉLECTRICITE

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	0
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	0
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	944
Entretien moyen (€ TTC/an)	0
Maintenance moyen (€ TTC/an)	0

FIGURE 69 : SCENARIO BOIS ENERGIE – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE - ÉLECTRICITE

Malgré un investissement nul (réseau électrique français), le coût global de ce scénario en moyenne sur 25 ans est relativement élevé. Cela s'explique par le coût élevé de l'électricité, et son augmentation sur cette période.

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	5 434
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	1 725
Part d'EnR sur le bilan global	14%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	315%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	311
Émissions de SO ₂ (t/an)	1,5
Émissions de NO _x (t/an)	0,8
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	86
Déchets nucléaires HA (kg/an)	17

FIGURE 70 : SCENARIO BOIS ENERGIE – BILAN ENVIRONNEMENTAL – ELECTRICITE

Le mix électrique français (environ 74 % nucléaire et 14 % d'énergie renouvelable), permet d'atteindre des émissions de GES relativement faibles. Cependant, la consommation d'énergie primaire est quant à elle très importante.

3.6.4. Global

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	3 414 400
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	3 414 400
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	175
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	14
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	7
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	23

FIGURE 71 : SCENARIO BOIS ENERGIE – BILAN ECONOMIQUE - GLOBAL

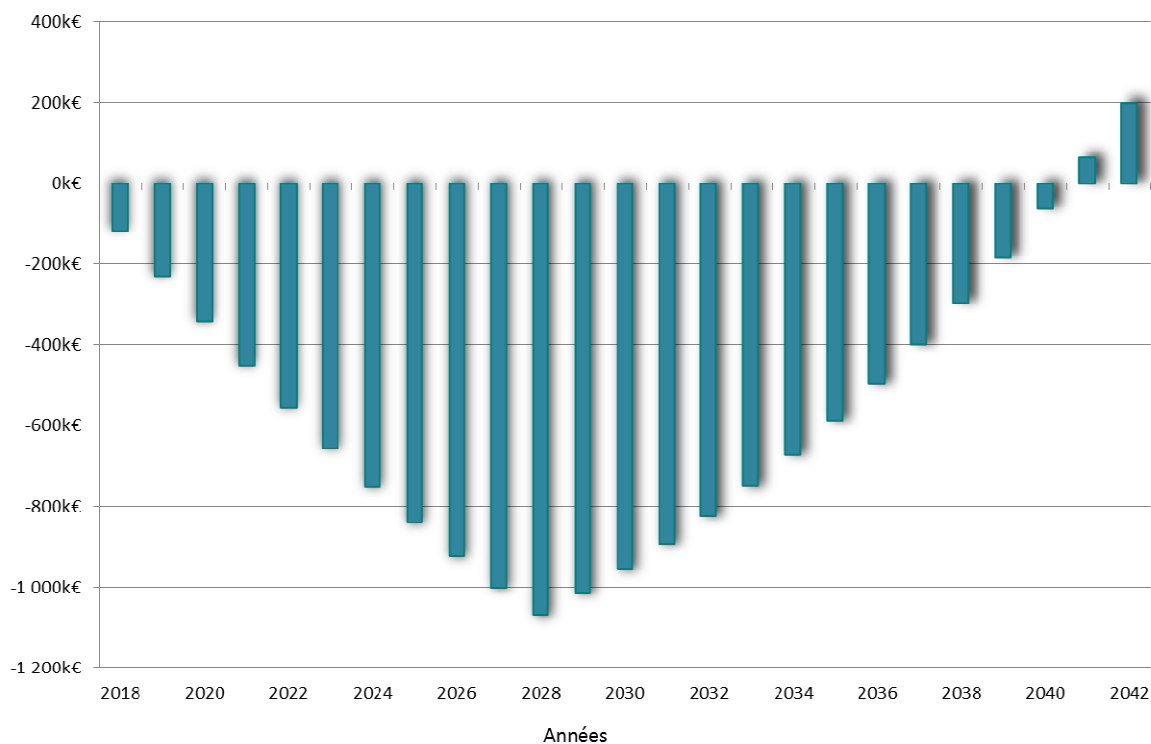


FIGURE 72 : SCENARIO BOIS ENERGIE – VALEUR ACTUELLE NETTE - GLOBAL

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	5 363
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	5 363
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	798
Entretien moyen (€ TTC/an)	63
Maintenance moyen (€ TTC/an)	34

FIGURE 73 : SCENARIO BOIS ENERGIE – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE - GLOBAL

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	6 399
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	4 942
Part d'EnR sur le bilan global	70%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	138%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	311
Émissions de SO ₂ (t/an)	2
Émissions de NOx (t/an)	2
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	86
Déchets nucléaires HA (kg/an)	17

FIGURE 74 : SCENARIO BOIS ENERGIE – BILAN ENVIRONNEMENTAL - GLOBAL

3.6.5. Mise en œuvre

AFUL : investissement et gestion par un opérateur privé

La mutualisation des équipements de production de la chaleur impose plusieurs contraintes :

- La temporalité des bâtiments doit être maîtrisée : il faut concevoir et construire les bâtiments et le système de production de chaleur en même temps (parfois très compliqué sur des lots libres)
- Des compteurs de chaleur doivent être installés pour chaque bâtiment (pour la répartition des charges)
- La gestion de l'installation doit se faire de manière commune.

La fourniture de chaleur constitue une activité privée gérée par une association de propriétaires.

La réalisation d'une partie de l'équipement est prise en charge par l'aménageur (réseaux et canalisation). Elle est effectuée dans le cadre des travaux de mise en place des VRD sur le site (permettant la réduction des coûts d'aménagement de cette installation).

La construction de la chaufferie est faite par un opérateur sélectionné par l'association de propriétaires.

La collectivité n'intervient pas directement dans le montage. L'aménageur n'intervient qu'au moment de la cession des terrains pour imposer l'adhésion à l'AFUL. Les propriétaires situés dans la ZAC adhèrent à l'AFUL. La qualité de membre de l'AFUL est transmise aux acquéreurs successifs.

En cas de mutualisation avec des bâtiments situés en dehors de la ZAC, il est possible d'associer à l'AFUL ces propriétaires.

Financement :

L'opérateur supporte la charge de la construction du réseau et se rémunère sur les prestations de chauffage facturées aux membres de l'AFUL.

Obligation de raccordement :

- Le classement¹ d'un réseau n'est possible que si trois conditions sont respectées :
 - Le réseau est alimenté à au moins 50 % par des énergies renouvelables ou de récupération,
 - Un comptage des quantités d'énergie livrées par point de livraison est assuré,
 - L'équilibre financier de l'opération, pendant la période d'amortissement des installations, est assuré.
- Possibilité de prévoir l'obligation d'adhésion à l'AFUL dans le CCCT (Cahier des Charges de Cession de Terrain).

¹ Le classement d'un réseau permet l'obligation de raccordement, une réduction de TVA et une bonification dans les calculs réglementaires de la RT 2012 et la future RBR 2020

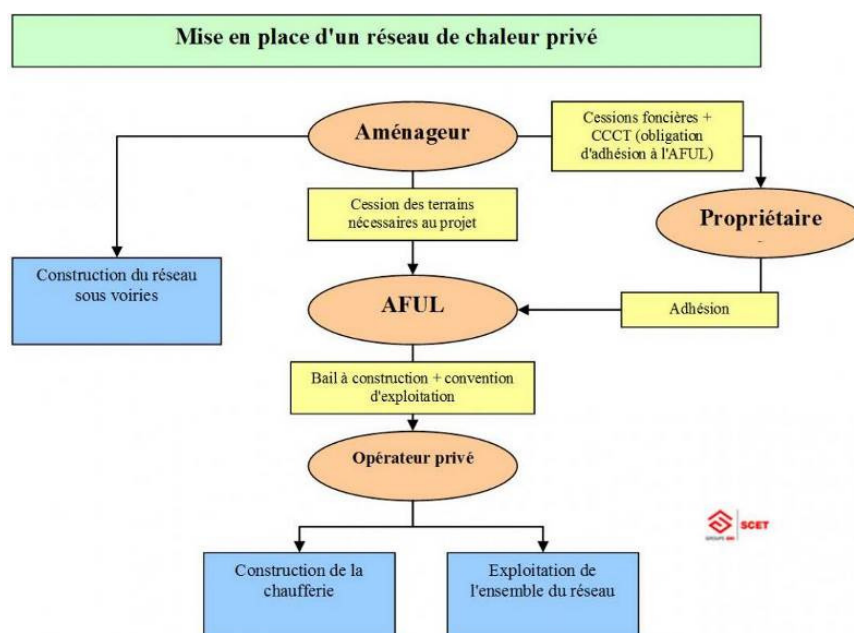


FIGURE 75 : MONTAGE JURIDIQUE D'UN RESEAU DE CHALEUR PRIVE

3.7. Scénario très ambitieux pour le quartier et le territoire : bois énergie et photovoltaïque

3.7.1. Description du scénario

Ce scénario reprend la base du scénario précédent, en exploitant l'intégralité des toitures orientées sud pour le **solaire photovoltaïque** (dans la limite des contraintes techniques du projet). Cela permet d'inscrire le projet dans la **démarche TEPOS** en générant des externalités positives pour le territoire.

Les hypothèses d'implantation des panneaux solaires photovoltaïques sont les mêmes que pour le scénario hybride + PV, à la seule différence que la surface dédiée aux panneaux solaires hybrides est utilisée pour l'implantation de panneaux solaires photovoltaïques.

	Chauffage	ECS	Electricité
Maisons individuelles	Chaudière bois mutualisée (groupement d'une dizaine de logements)		Solaire photovoltaïque + réseau national
Logements intermédiaires	Chaudière bois mutualisée (groupement d'une dizaine de logements)		Solaire photovoltaïque + réseau national

FIGURE 76 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV - DESCRIPTION

3.7.2. Chaleur

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	3 414 400
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	3 414 400
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	86
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	22
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	12
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	23

FIGURE 77 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV – BILAN ECONOMIQUE - CHALEUR

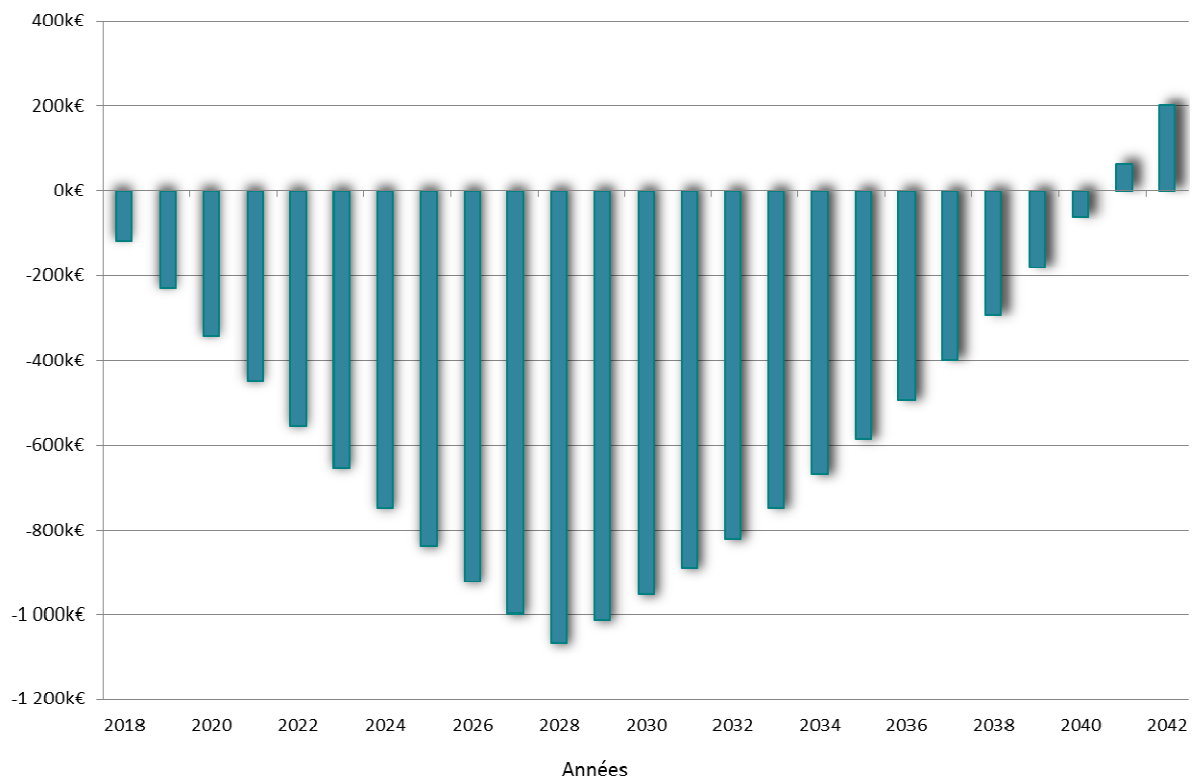


FIGURE 78 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV – VALEUR ACTUELLE NETTE - CHALEUR

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	5 363
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	5 363
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	391
Entretien moyen (€ TTC/an)	101
Maintenance moyen (€ TTC/an)	54

FIGURE 79 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE - CHALEUR

Malgré un coût de la chaleur faible en moyenne sur 25 ans, l'investissement est tel, que la rentabilité de l'installation n'est atteinte qu'au bout de 23 ans. Sachant que le système a une durée de vie de l'ordre de 25 ans, cette stratégie comprend un risque.

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWh/an)	965
Consommation d'énergie finale (MWh/an)	3 217
Part d'EnR sur le bilan global	100%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	33%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	0
Émissions de SO ₂ (t/an)	0
Émissions de NOx (t/an)	1,0
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	0
Déchets nucléaires HA (kg/an)	0

FIGURE 80 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV – BILAN ENVIRONNEMENTAL – CHALEUR

Du point de vue environnemental, le bois permet de couvrir les besoins de chaleur à 100 % par du renouvelable et de limiter la consommation d'énergie primaire de manière très importante.

3.7.3. Electricité

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	7 839 040
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	7 839 040
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	-80
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	5
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	30
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	18

FIGURE 81 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV – BILAN ECONOMIQUE - ELECTRICITE

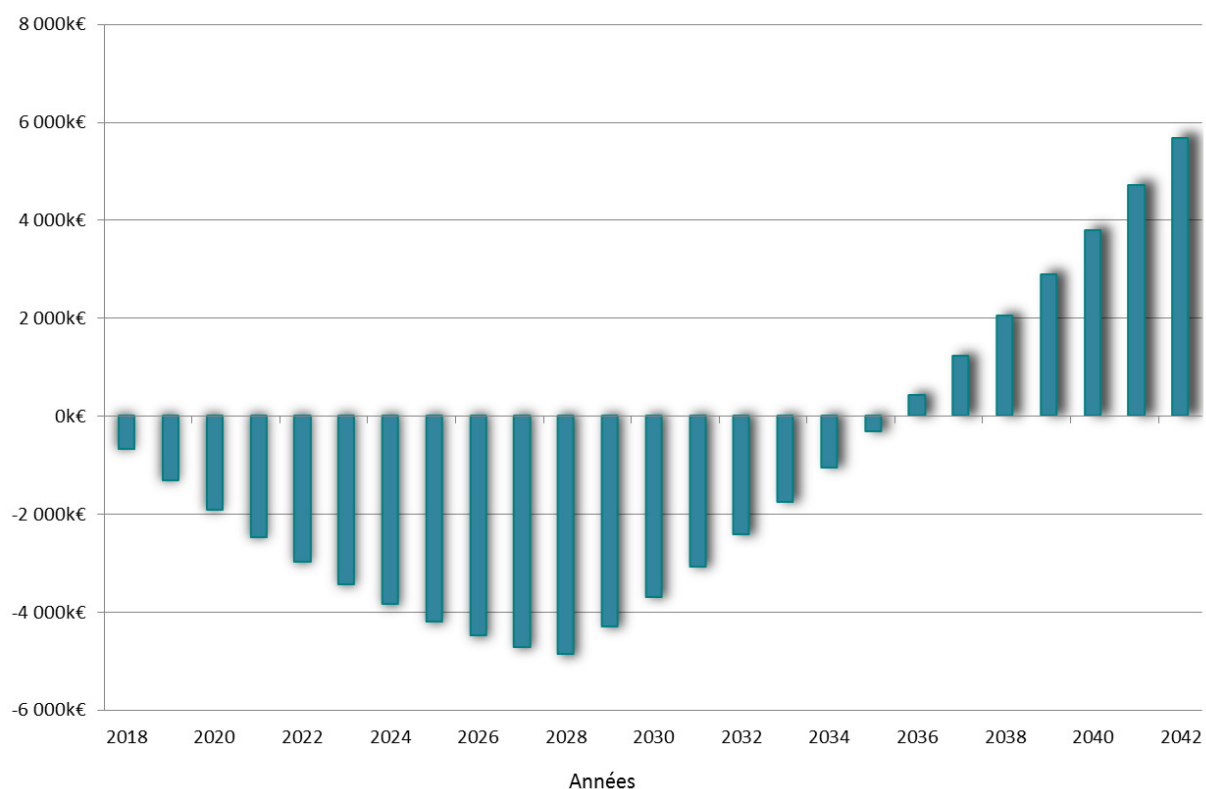


FIGURE 82 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV – VALEUR ACTUELLE NETTE - ELECTRICITE

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	12 314
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	12 314
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	-232
Entretien moyen (€ TTC/an)	15
Maintenance moyen (€ TTC/an)	88

FIGURE 83 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE - ÉLECTRICITE

Le très fort taux de couverture photovoltaïque des toitures engendre un investissement très important. Cependant, grâce à la production engendrée, plus de 100 % des besoins d'électricité sont couverts, il y a donc un surplus de production électrique qui permet d'avoir un gain grâce à la vente d'énergie.

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWh/an)	-2 717
Consommation d'énergie finale (MWh/an)	1 725
Part d'EnR sur le bilan global	100%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	-158%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	-155
Émissions de SO ₂ (t/an)	-0,8
Émissions de NOx (t/an)	-0,4
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	-43,1
Déchets nucléaires HA (kg/an)	-9

FIGURE 84 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV – BILAN ENVIRONNEMENTAL – ÉLECTRICITE

Le surplus de production permet d'éviter au réseau électrique national de solliciter les installations de production d'électricité classiques. Ce qui explique les impacts environnementaux négatifs.

3.7.4. Global

Analyse économique

Bilan économique	
Investissement total (€ TTC)	11 253 440
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	11 253 440
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/MWh)	24
Entretien moyen (€ TTC/MWh)	16
Maintenance moyen (€ TTC/MWh)	19
Efficacité financière	
Temps de retour (années)	19

FIGURE 85 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV – BILAN ECONOMIQUE - GLOBAL

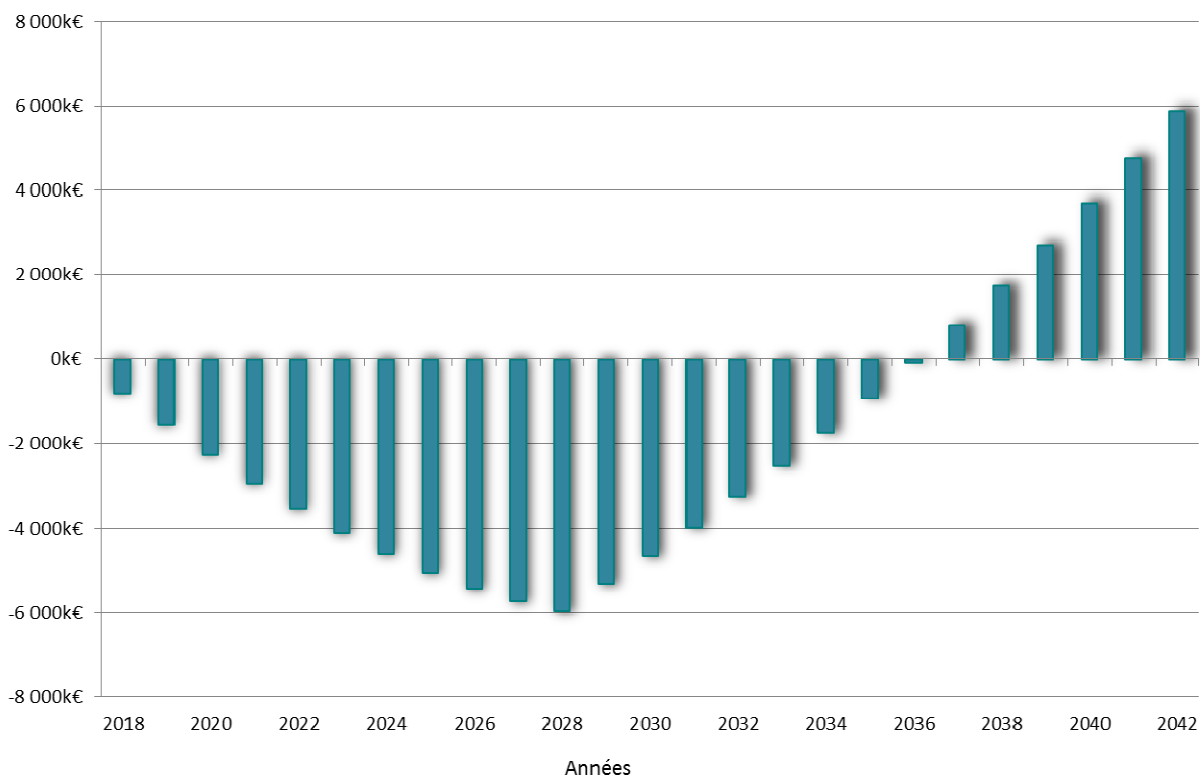


FIGURE 86 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV – VALEUR ACTUELLE NETTE - GLOBAL

Bilan économique pour une famille de 4 personnes	
Investissement total (€ TTC)	17 677
Subventions (€)	0
Investissement non subventionné (€ TTC)	17 677
Coût de l'énergie moyen (€ TTC/an)	110
Entretien moyen (€ TTC/an)	72
Maintenance moyen (€ TTC/an)	85

FIGURE 87 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV – BILAN ECONOMIQUE POUR UN MENAGE - GLOBAL

Analyse environnementale

Bilan environnemental	
Consommation d'énergie primaire (MWhep/an)	-1 752
Consommation d'énergie finale (MWhef/an)	4 942
Part d'EnR sur le bilan global	100%
Ratio de consommation des ressources (Ep/Conso)	-38%
Émissions de GES (t eqCO ₂ /an)	-155
Émissions de SO ₂ (t/an)	-1
Émissions de NOx (t/an)	1
Déchets nucléaires TFA - FA - MA (kg/an)	-43
Déchets nucléaires HA (kg/an)	-9

FIGURE 88 : SCENARIO BOIS ENERGIE + PV – BILAN ENVIRONNEMENTAL - GLOBAL

3.7.5. Mise en œuvre

La mise en œuvre et la gestion de cette solution se fait de la même manière que le scénario précédent pour la production de chaleur, tant dis que les installations photovoltaïques peuvent être financées et gérées individuellement, financées individuellement et gérées collectivement, ou bien financées et gérées collectivement (cf § 3.5.5)

3.8. Comparaison des scénarios

3.8.1. Chaleur

Comparaison économique

	Investissement (€)	Coût moyen de l'énergie (€/MWh)	Coût moyen de l'entretien maintenance (€/MWh)	Temps de retour (années)
Scénario 0 - Référence	2 111 000 €	104 €	42 €	-
Scénario 1 - Solaire hybride	2 534 512 €	76 €	50 €	14
Scénario 2 - Solaire hybride + PV	2 534 512 €	76 €	50 €	14
Scénario 3 - Bois énergie	3 414 400 €	86 €	34 €	23
Scénario 4 - Bois énergie + PV	3 414 400 €	86 €	34 €	23

FIGURE 89 : COMPARAISON ECONOMIQUE DES SCENARIOS – CHALEUR

	Investissement (€)	Coût moyen de l'énergie (€/an)	Coût moyen de l'entretien maintenance (€/an)
Scénario 0 - Référence	3 316	473	191
Scénario 1 - Solaire hybride	3 981	345	227
Scénario 2 - Solaire hybride + PV	3 981	345	227
Scénario 3 - Bois énergie	5 363	391	155
Scénario 4 - Bois énergie + PV	5 363	391	155

FIGURE 90 : COMPARAISON ECONOMIQUE DES SCENARIOS – POUR UN MENAGE – CHALEUR

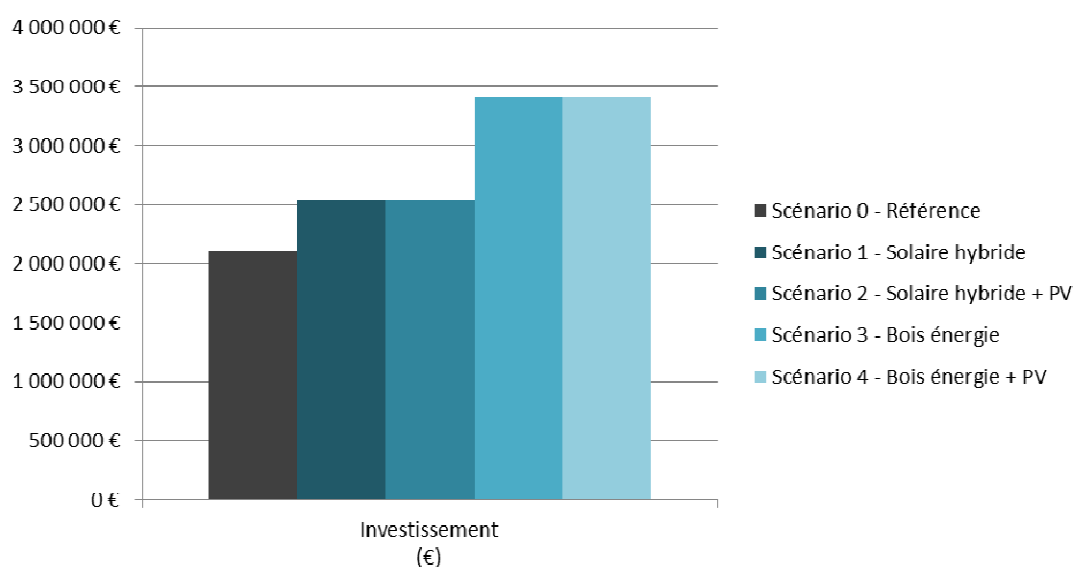


FIGURE 91 : COMPARAISON DES MONTANTS D'INVESTISSEMENTS – CHALEUR

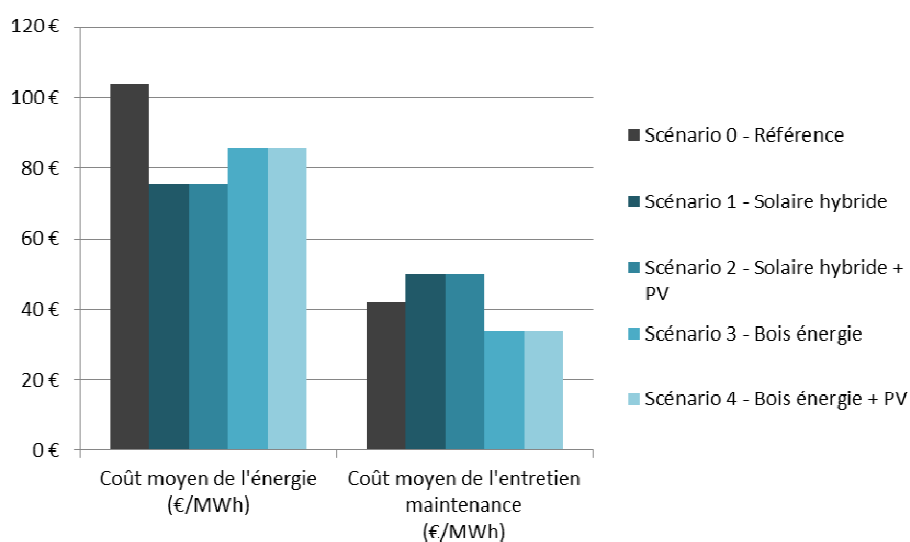


FIGURE 92 : COMPARAISON DES COUTS A L'EXPLOITATION - CHALEUR

Comparaison environnementale

	Taux EnR (%)	Consommation EP (MWhEP/an)	Ratio EP/EF (%)	Emissions GES (T eq CO2/an)
Scénario 0 - Référence	31%	3 009	104%	459
Scénario 1 - Solaire hybride	30%	2 236	77%	476
Scénario 2 - Solaire hybride + PV	30%	2 236	77%	476
Scénario 3 - Bois énergie	100%	965	33%	0
Scénario 4 - Bois énergie + PV	100%	965	33%	0

FIGURE 93 : COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE DES SCENARIOS – CHALEUR

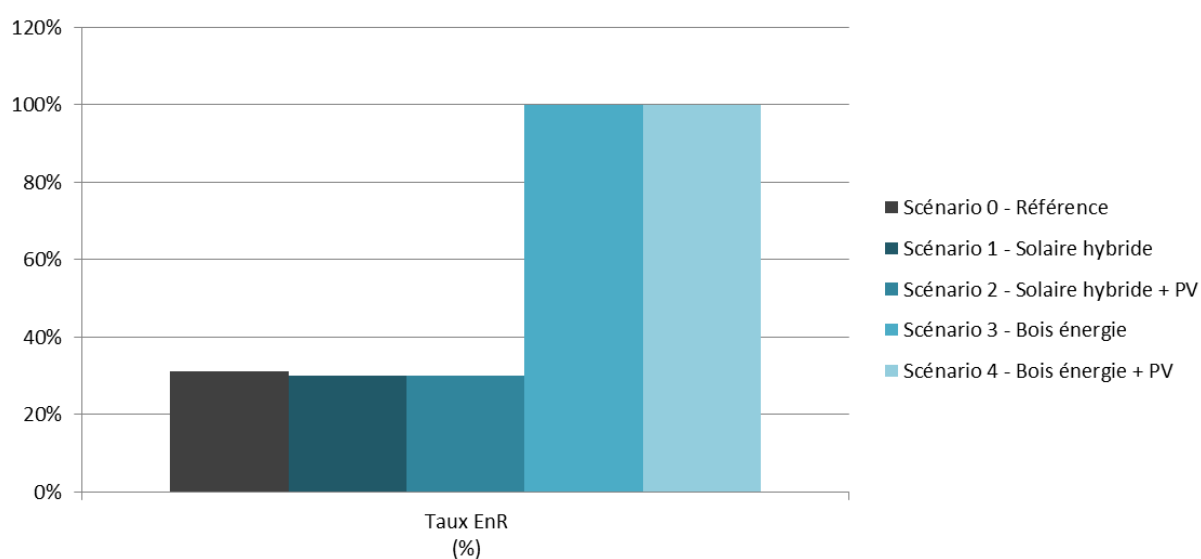


FIGURE 94 : COMPARAISON DES TAUX D'ENR – CHALEUR

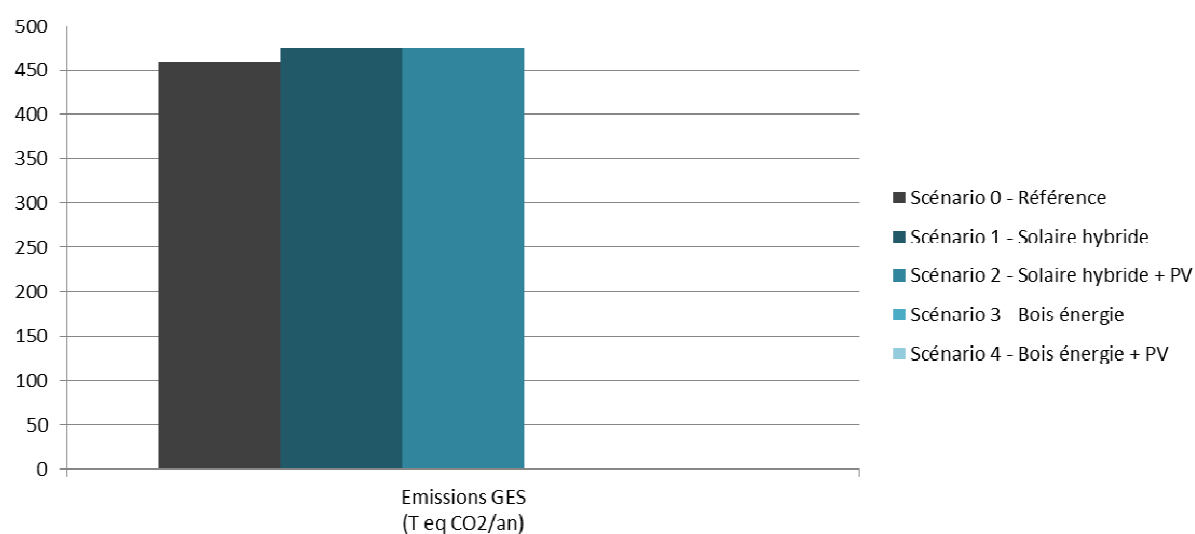


FIGURE 95 : COMPARAISON DES EMISSIONS DE GES – CHALEUR

3.8.2. Electricité

Comparaison économique

	Investissement (€)	Coût moyen de l'énergie (€/MWh)	Coût moyen de l'entretien maintenance (€/MWh)	Temps de retour (années)
Scénario 0 - Référence	0 €	325 €	0 €	-
Scénario 1 - Solaire hybride	1 158 720 €	272 €	7 €	20
Scénario 2 - Solaire hybride + PV	8 997 760 €	-80 €	40 €	20
Scénario 3 - Bois énergie	0 €	325 €	0 €	0
Scénario 4 - Bois énergie + PV	7 839 040 €	-80 €	36 €	18

FIGURE 96 : COMPARAISON ECONOMIQUE DES SCENARIOS – ELECTRICITE

	Investissement (€)	Coût moyen de l'énergie (€/an)	Coût moyen de l'entretien maintenance (€/an)
Scénario 0 - Référence	0	1 483	0
Scénario 1 - Solaire hybride	1 820	1 239	33
Scénario 2 - Solaire hybride + PV	14 134	-365	182
Scénario 3 - Bois énergie	0	1 483	0
Scénario 4 - Bois énergie + PV	12 314	-365	162

FIGURE 97 : COMPARAISON ECONOMIQUE DES SCENARIOS – POUR UN MENAGE – ELECTRICITE

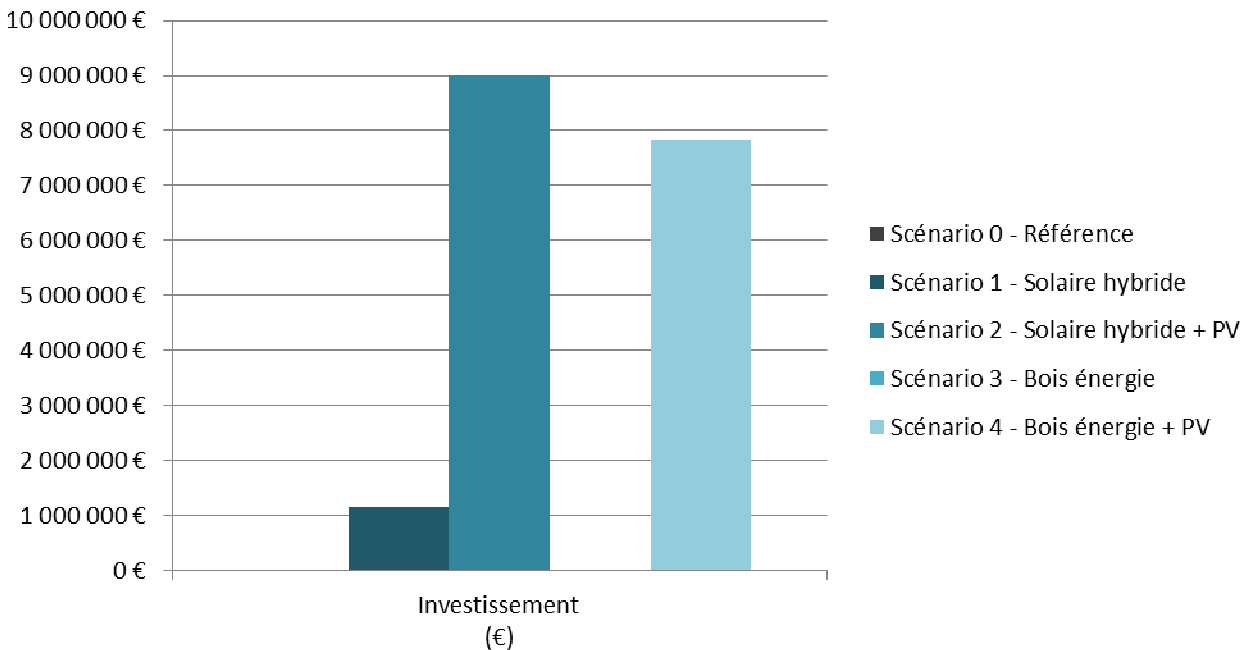


FIGURE 98 : COMPARAISON DES MONTANTS D'INVESTISSEMENTS – ELECTRICITE

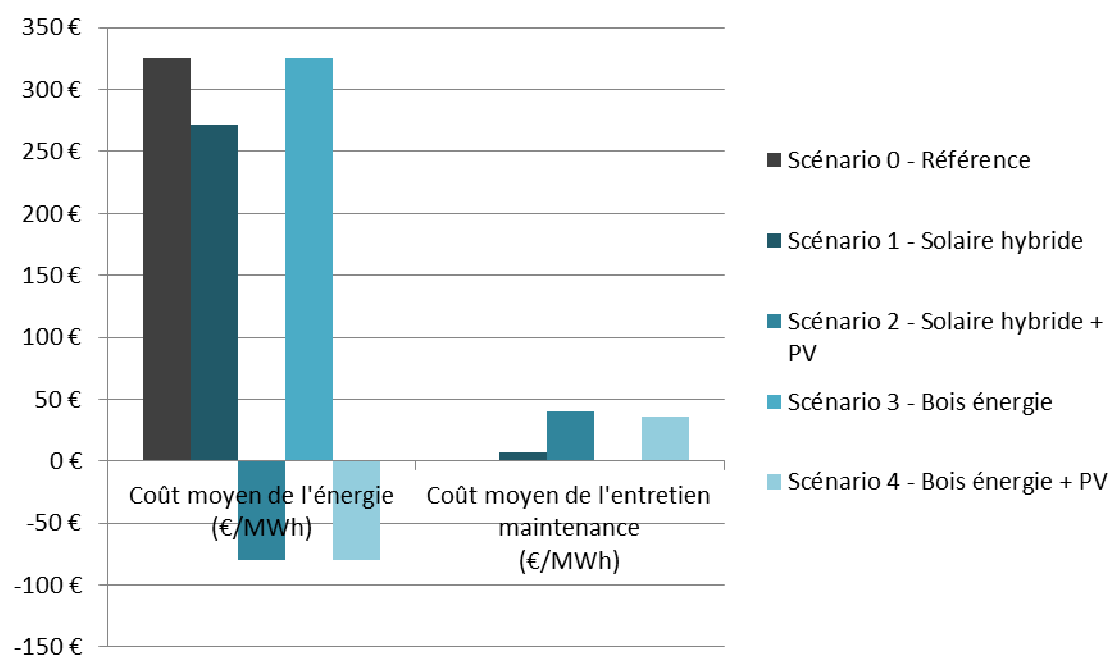


FIGURE 99 : COMPARAISON DES COUTS A L'EXPLOITATION - ELECTRICITE

Comparaison environnementale

	Taux EnR (%)	Consommation EP (MWhEP/an)	Ratio EP/EF (%)	Emissions GES (T eq CO2/an)
Scénario 0 - Référence	14%	5 434	315%	311
Scénario 1 - Solaire hybride	25%	4 717	273%	270
Scénario 2 - Solaire hybride + PV	100%	-2 826	-164%	-161
Scénario 3 - Bois énergie	14%	5 434	315%	311
Scénario 4 - Bois énergie + PV	100%	-2 717	-158%	-155

FIGURE 100 : COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE DES SCENARIOS – ELECTRICITE

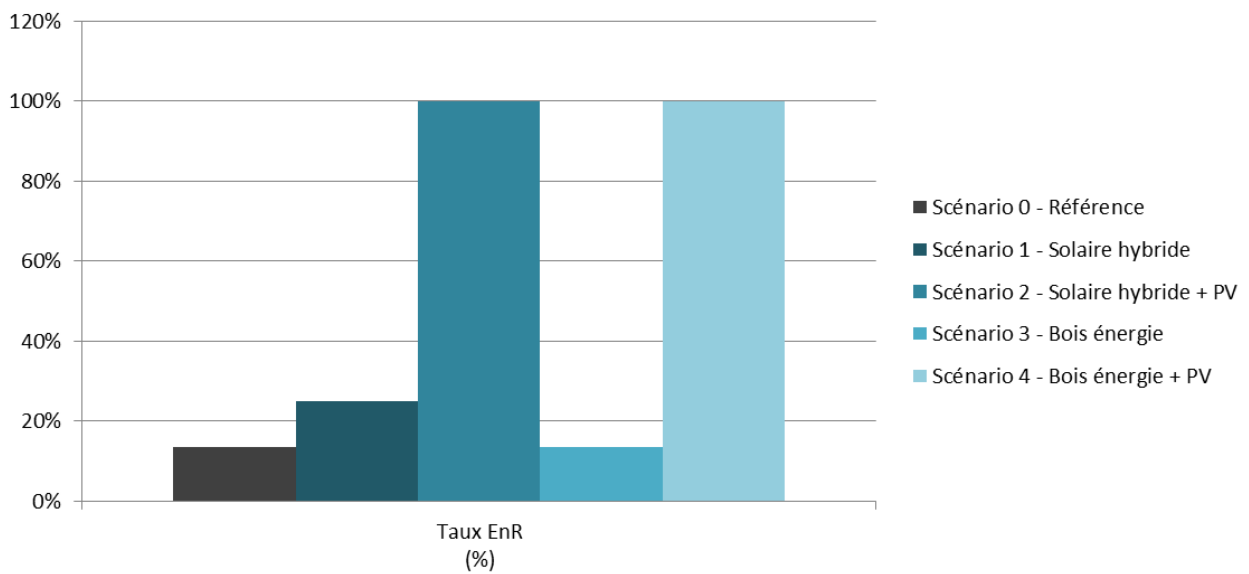


FIGURE 101 : COMPARAISON DES TAUX D'ENR — ELECTRICITE

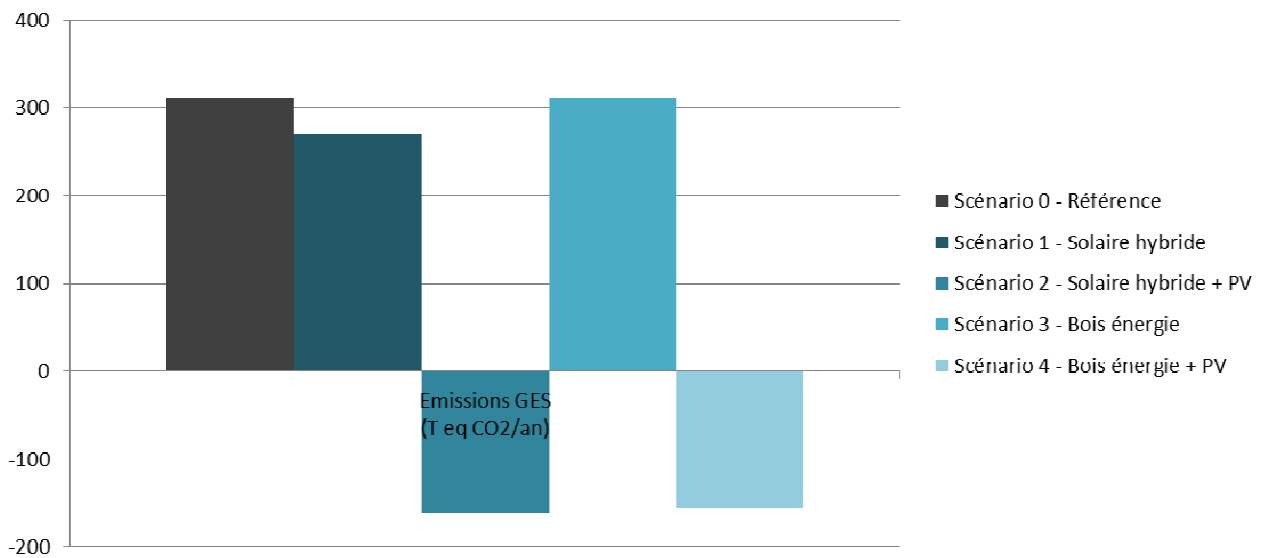


FIGURE 102 : COMPARAISON DES EMISSIONS DE GES — ÉLECTRICITE..

3.8.3. Global

Comparaison économique

	Investissement (€)	Coût moyen de l'énergie (€/MWh)	Coût moyen de l'entretien maintenance (€/MWh)	Temps de retour (années)
Scénario 0 - Référence	2 111 000 €	186 €	26 €	-
Scénario 1 - Solaire hybride	3 693 232 €	149 €	34 €	18
Scénario 2 - Solaire hybride + PV	11 532 272 €	18 €	46 €	19
Scénario 3 - Bois énergie	3 414 400 €	175 €	21 €	23
Scénario 4 - Bois énergie + PV	11 253 440 €	24 €	35 €	19

FIGURE 103 : COMPARAISON ECONOMIQUE DES SCENARIOS – GLOBAL

	Investissement (€)	Coût moyen de l'énergie (€/an)	Coût moyen de l'entretien maintenance (€/an)	Temps de retour (années)
Scénario 0 - Référence	3 316	849	120	-
Scénario 1 - Solaire hybride	5 801	678	155	18
Scénario 2 - Solaire hybride + PV	18 115	80	210	19
Scénario 3 - Bois énergie	5 363	798	97	23
Scénario 4 - Bois énergie + PV	17 677	110	157	19

FIGURE 104 : COMPARAISON ECONOMIQUE DES SCENARIOS – POUR UN MENAGE – GLOBAL

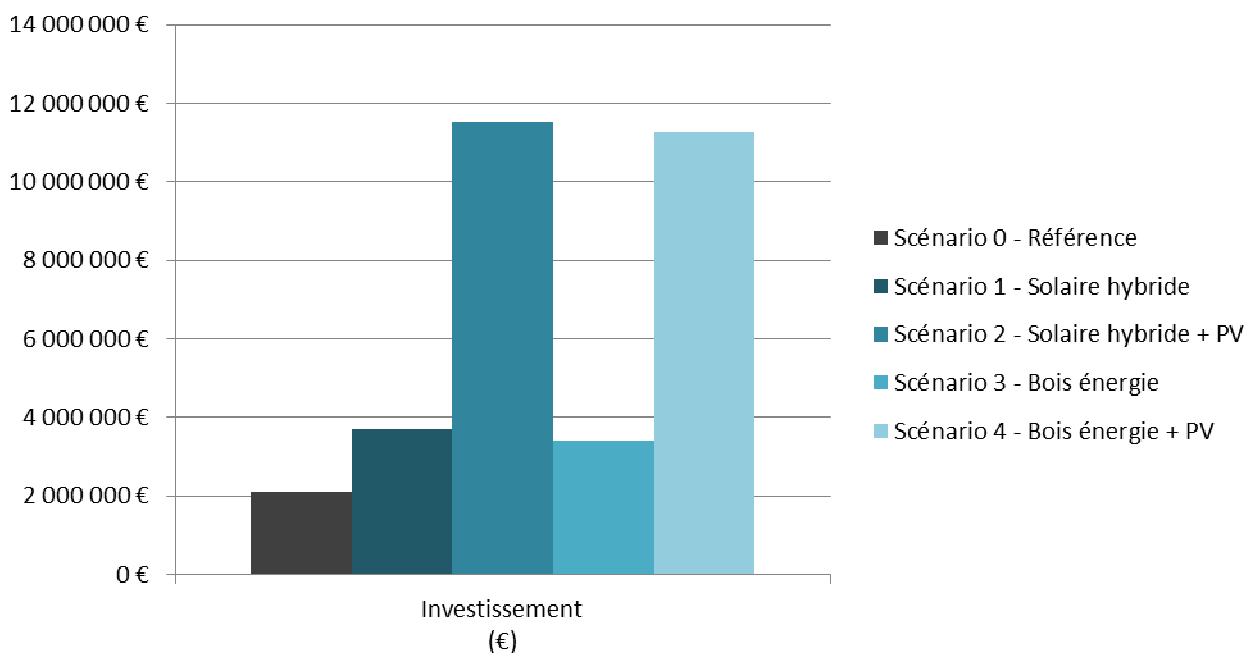


FIGURE 105 : COMPARAISON DES MONTANTS D'INVESTISSEMENTS – GLOBAL

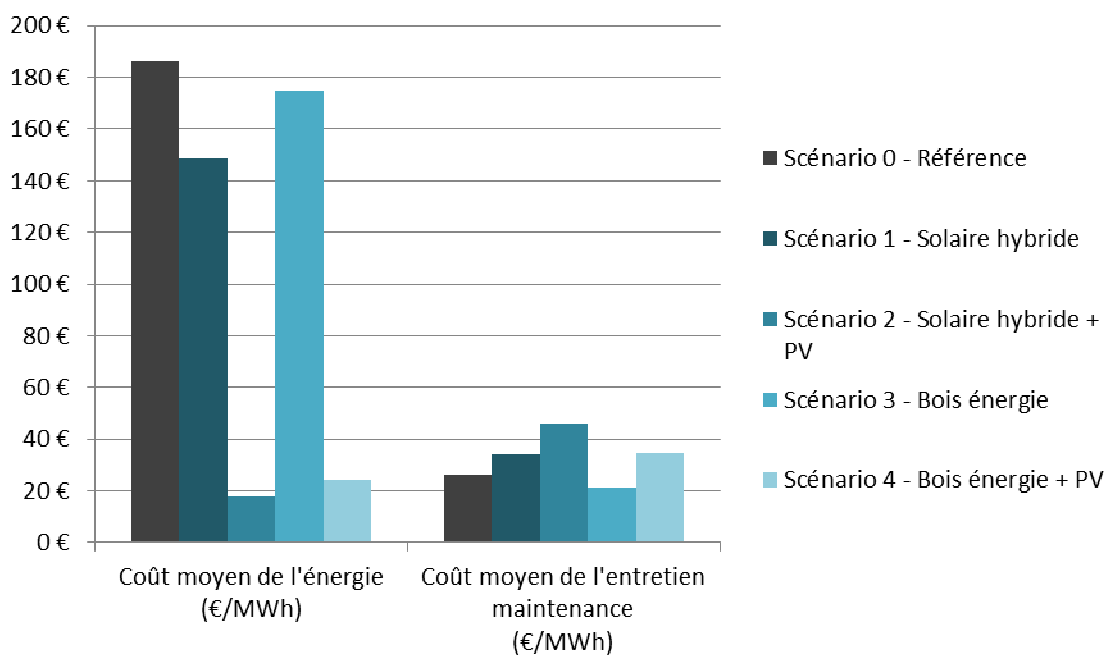


FIGURE 106 : COMPARAISON DES COUTS A L'EXPLOITATION - GLOBAL

Comparaison environnementale

	Taux EnR (%)	Consommation EP (MWhEP/an)	Ratio EP/EF (%)	Emissions GES (T eq CO2/an)
Scénario 0 - Référence	23%	8 443	182%	770
Scénario 1 - Solaire hybride	28%	6 953	150%	745
Scénario 2 - Solaire hybride + PV	57%	-590	-13%	314
Scénario 3 - Bois énergie	70%	6 399	138%	311
Scénario 4 - Bois énergie + PV	100%	-1 752	-38%	-155

FIGURE 107 : COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE DES SCENARIOS – GLOBAL

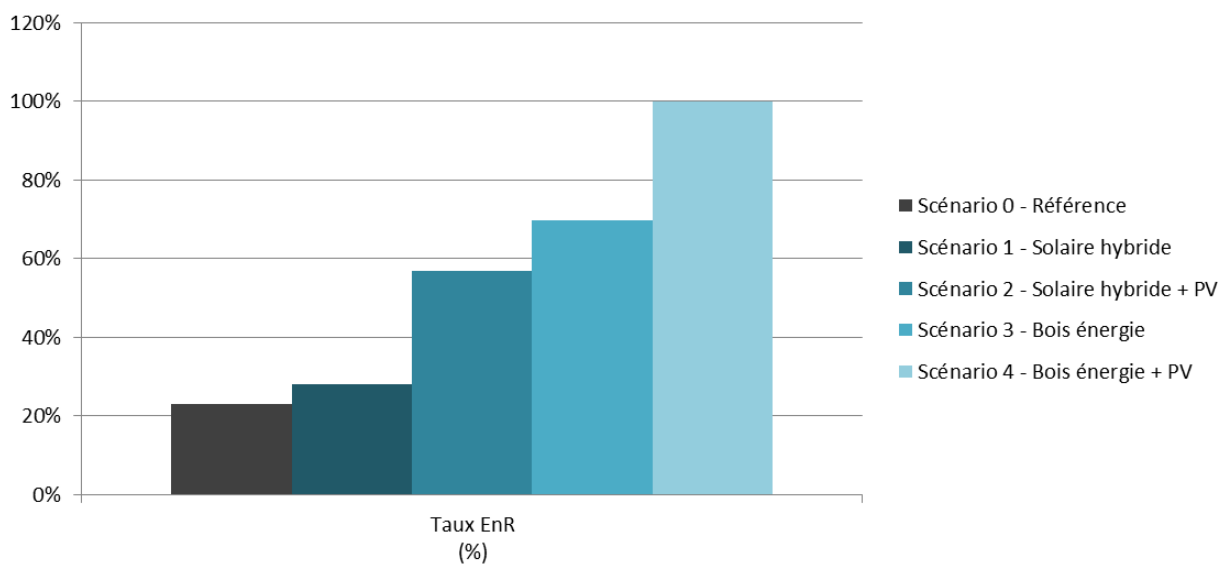


FIGURE 108 : COMPARAISON DES TAUX D'ENR – GLOBAL

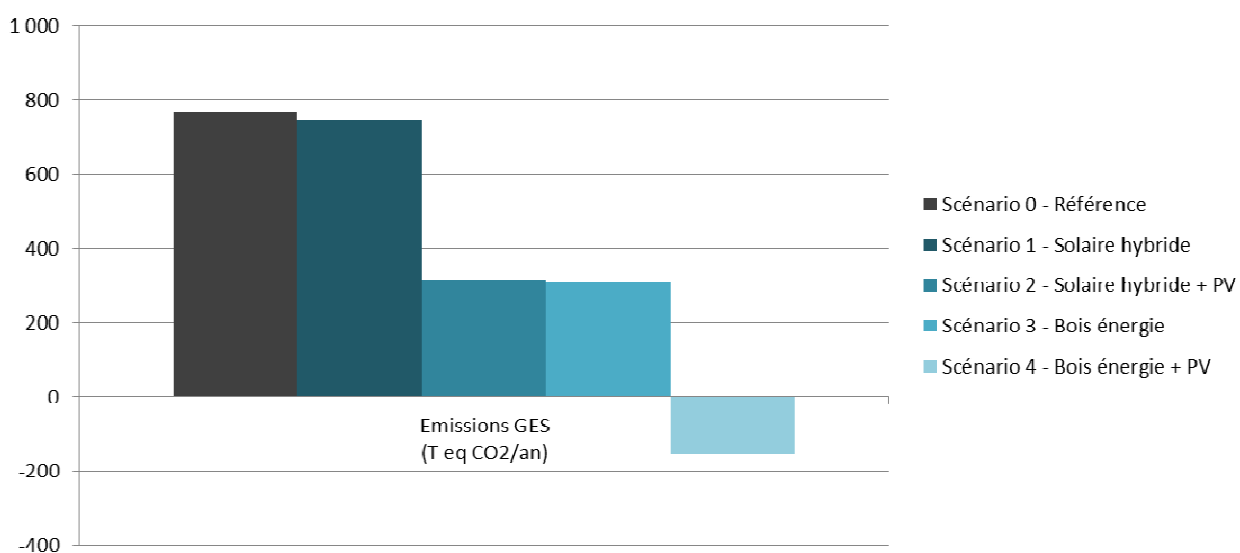


FIGURE 109 : COMPARAISON DES EMISSIONS DE GES – GLOBAL

3.8.4. Comparaison des atouts et des contraintes

	Atouts	Contraintes
Scénario 0 - Référence	<ul style="list-style-type: none"> - Faible investissement - Mise en œuvre et gestion très simple 	<ul style="list-style-type: none"> - Très forte dépendance aux énergies fossiles
Scénario 1 - Solaire hybride	<ul style="list-style-type: none"> - Production EnR pertinente par rapport aux bâtiments (ECS et électricité) - Mise en œuvre et gestion très simple 	<ul style="list-style-type: none"> - Investissement important - Pas d'action sur le chauffage - Forte dépendance aux énergies fossiles
Scénario 2 - Solaire hybride + PV	<ul style="list-style-type: none"> - Participation à la démarche TEPOS au-delà du périmètre projet - Production EnR pertinente par rapport aux bâtiments (ECS et électricité) 	<ul style="list-style-type: none"> - Investissement très important - Forte dépendance aux énergies fossiles pour les besoins de chaleur - Pas d'action sur le chauffage - Montage juridique à définir pour l'investissement et la gestion des panneaux photovoltaïques
Scénario 3 - Bois énergie	<ul style="list-style-type: none"> - Production de la chaleur par des EnR - Bonne indépendance aux énergies fossiles - Résilience économique par rapport à l'évolution des prix des énergies - Filière bois locale structurée et ayant la capacité de couvrir la consommation du projet 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité de regrouper au maximum les bâtiments pour favoriser la mutualisation - Phasage contraint par la stratégie énergétique - Gestion des installations de production de chaleur - Investissement important
Scénario 4 - Bois énergie + PV	<ul style="list-style-type: none"> - Participation à la démarche TEPOS au-delà du périmètre projet - Très bonne indépendance aux énergies fossiles - Résilience économique par rapport à l'évolution des prix des énergies - Filière bois locale structurée et ayant la capacité de couvrir la consommation du projet 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité de regrouper au maximum les bâtiments pour favoriser la mutualisation - Phasage contraint par la stratégie énergétique - Investissement très important - Gestion des installations de production de chaleur

FIGURE 110 : BILAN ATOUTS-CONTRAINTES

4. CONCLUSION

Le phasage, les faibles besoins et la disposition géographique empêchent toute solution mutualisée à grande échelle. La principale contrainte du projet sera donc de réussir à déployer la stratégie choisie sur l'ensemble des bâtiments construits sur la ZAC. La multiplication des lots individuels et des intervenants est une contrainte pour assurer la cohérence de cette stratégie.

Les atouts du projet, des faibles besoins énergétiques et une surface de toiture disponible importante, doivent être valorisés. D'autant plus que le territoire est engagé dans une démarche TEPOS.

Le besoin de chauffage étant restreint (RT2012- 20 % et RBR 2020), un travail doit être fait sur la satisfaction des besoins restants incompressibles : les besoins d'électricité spécifique et les besoins d'ECS.

Le solaire hybride, le solaire photovoltaïque et le bois énergie permettent de répondre à ces enjeux.

Le recours au photovoltaïque paraît tout à fait pertinent, car cela permet de valoriser le potentiel du site et de contribuer fortement à la démarche TEPOS.

Le choix entre solaire hybride et bois énergie peut se résumer autour de quelques points :

- Le solaire hybride ne couvre que partiellement les besoins d'ECS (50 %), le bois couvre totalement les besoins d'ECS et de chauffage.
- Le solaire hybride produit de l'électricité en complément, pas le bois énergie (à moins de faire de la cogénération, dont les coûts sont prohibitifs compte tenu de l'échelle de mutualisation envisagée)
- Le solaire hybride se conçoit de manière individuelle (au bâtiment), alors que le bois énergie doit se concevoir en mutualisant les besoins et donc les bâtiments, ce qui implique de travailler (conception, réalisation et gestion), dans une même unité.

5. TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Programmation retenue pour l'étude	3
Figure 2 : Besoins énergétiques globaux de la ZAC	4
Figure 3 : Répartition des besoins énergétiques	4
Figure 4 : Comparaison des besoins énergétiques en fonction de l'ambition	4
Figure 5 : Plan du projet	5
Figure 6 : Plan du réseau de chaleur existant - SOFLEC	6
Figure 7 : Plan du réseau de chaleur existant S.O.D.C et de sa zone de concession	7
Figure 8 : Densité énergétique brut en cas de raccordement	7
Figure 9 : Schéma du système de récupération de chaleur du centre aquatique de Levallois-Perret	8
Figure 10 : Schéma de fonctionnement de la récupération de chaleur sur les eaux grises	9
Figure 11 : Données géothermiques superficielles du secteur clos de la pointe (Géothermie perspective) ..	10
Figure 12 : Caractéristiques du projet	11
Figure 13 : Carte des installations de solaire hybride – Dualsun	13
Figure 14 : Taux de couverture des besoins d'ECS par le solaire	14
Figure 15 : productions gaz et solaire mensuelles	15
Figure 16 : Température maximale des panneaux	15
Figure 17 : Installation solaire hybride sur une maison – Saône et Loire	16
Figure 18 : Installation solaire hybride sur une maison – Yonne	16
Figure 19 : Installation solaire hybride sur des logements intermédiaires – Ain	16
Figure 20 : Chaufferie bois pour un ensemble de logements – Haute-Loire	17
Figure 21 : Chaufferie bois d'un mini-réseau de chaleur – Orne	17
Figure 22 : Installation complète : chaudière, ballon de stockage et silo de 4 tonnes - Aveyron	17
Figure 23 : Hypothèses économiques – coûts des énergies	18
Figure 24 : Hypothèses économiques – indicateurs environnementaux	18
Figure 25 : Tarifs de vente de l'électricité photovoltaïque	18
Figure 26 : Scénario de référence - description	19
Figure 27 : Scénario Référence – Bilan économique - Chaleur	19
Figure 28 : Scénario Référence – Bilan économique pour un ménage - Chaleur	19
Figure 29 : Scénario Référence – Bilan environnemental – Chaleur	20
Figure 30 : Scénario Référence – Bilan économique - Electricité	20
Figure 31 : Scénario Référence – Bilan économique pour un ménage - Electricité	20
Figure 32 : Scénario Référence – Bilan environnemental - Electricité	21
Figure 33 : Scénario Référence – Bilan économique - Global	21
Figure 34 : Scénario Référence – Bilan économique pour un ménage - Global	21
Figure 35 : Scénario Référence – Bilan environnemental - Global	22
Figure 36 : Scénario solaire hybride - description	22
Figure 37 : Scénario solaire hybride – Bilan économique - Chaleur	23
Figure 38 : Scénario solaire hybride – Valeur actuelle nette – Chaleur	23
Figure 39 : Scénario solaire hybride – Bilan économique pour un ménage – Chaleur	24
Figure 40 : Scénario solaire hybride – Bilan environnemental - Chaleur	24
Figure 41 : Scénario solaire hybride – Bilan économique – Electricité	25
Figure 42 : Scénario solaire hybride – Valeur Actuelle nette – Electricité	25
Figure 43 : Scénario solaire hybride – Bilan économique pour un ménage – Electricité	26
Figure 44 : Scénario solaire hybride – Bilan environnemental – Electricité	26
Figure 45 : Scénario Hybride – Bilan économique - Global	26
Figure 46 : Scénario Hybride – valeur Actuelle Nette - Global	27
Figure 47 : Scénario Hybride – Bilan économique pour un ménage - Global	27
Figure 48 : Scénario Hybride – Bilan environnemental - Global	28
Figure 49 : Scénario solaire hybride + PV – description	29
Figure 50 : Scénario solaire hybride +PV – Bilan économique – Chaleur	30
Figure 51 : Scénario solaire hybride +PV – Valeur Actuelle Nette – Chaleur	30

Figure 52 : Scénario solaire hybride +PV – Bilan économique pour un ménage – Chaleur	31
Figure 53 : Scénario solaire hybride +PV – Bilan environnemental – Chaleur	31
Figure 54 : Scénario solaire hybride +PV – Bilan économique – Electricité	32
Figure 55 : Scénario solaire hybride +PV – Valeur Actuelle Nette – Electricité.....	32
Figure 56 : Scénario solaire hybride +PV – Bilan économique pour un ménage – Electricité.....	33
Figure 57 : Scénario solaire hybride +PV – Bilan environnemental – Electricité.....	33
Figure 58 : Scénario Hybride + PV– Bilan économique - Global.....	34
Figure 59 : Scénario Hybride + PV– valeur Actuelle Nette - Global.....	34
Figure 60 : Scénario Hybride + PV– Bilan économique pour un ménage - Global	34
Figure 61 : Scénario Hybride + PV– Bilan environnemental - Global	35
Figure 62 : Flux financiers d’une centrale villageoise.....	36
Figure 63 : Scénario bois énergie - description	37
Figure 64 : Scénario bois énergie – Bilan économique - Chaleur	37
Figure 65 : Scénario bois énergie – Valeur Actuelle Nette - Chaleur	38
Figure 66 : Scénario bois énergie – Bilan économique pour un ménage - Chaleur	38
Figure 67 : Scénario bois énergie – Bilan environnemental - Chaleur	39
Figure 68 : Scénario bois énergie – Bilan économique - Electricité	39
Figure 69 : Scénario bois énergie – Bilan économique pour un ménage - Electricité.....	39
Figure 70 : Scénario bois énergie – Bilan environnemental – Electricité	40
Figure 71 : Scénario Bois énergie – Bilan économique - Global.....	40
Figure 72 : Scénario Bois énergie – valeur Actuelle Nette - Global.....	41
Figure 73 : Scénario Bois énergie – Bilan économique pour un ménage - Global	41
Figure 74 : Scénario Bois énergie – Bilan environnemental - Global	41
Figure 75 : Montage juridique d'un réseau de chaleur privé.....	43
Figure 76 : Scénario bois énergie + PV - description	43
Figure 77 : Scénario Bois énergie + PV – Bilan économique - Chaleur.....	44
Figure 78 : Scénario Bois énergie + PV – Valeur Actuelle Nette - Chaleur	44
Figure 79 : Scénario Bois énergie + PV – Bilan économique pour un ménage - Chaleur	44
Figure 80 : Scénario Bois énergie + PV – Bilan environnemental – Chaleur	45
Figure 81 : Scénario Bois énergie + PV – Bilan économique - Electricité	45
Figure 82 : Scénario Bois énergie + PV – Valeur Actuelle Nette - Electricité.....	46
Figure 83 : Scénario Bois énergie + PV – Bilan économique pour un ménage - Electricité.....	46
Figure 84 : Scénario Bois énergie + PV – Bilan environnemental – Electricité	47
Figure 85 : Scénario Bois énergie + PV – Bilan économique - Global.....	47
Figure 86 : Scénario Bois énergie + PV – valeur Actuelle Nette - Global.....	48
Figure 87 : Scénario Bois énergie + PV – Bilan économique pour un ménage - Global	48
Figure 88 : Scénario Bois énergie + PV – Bilan environnemental - Global	49
Figure 89 : Comparaison économique des scénarios – Chaleur.....	49
Figure 90 : Comparaison économique des scénarios – Pour un ménage – Chaleur	50
Figure 91 : Comparaison des montants d’investissements – Chaleur.....	50
Figure 92 : Comparaison des coûts à l’exploitation - Chaleur	50
Figure 93 : Comparaison environnementale des scénarios – Chaleur	51
Figure 94 : Comparaison des taux d’EnR – Chaleur.....	51
Figure 95 : Comparaison des émissions de GES – Chaleur	51
Figure 96 : Comparaison économique des scénarios – Electricité	52
Figure 97 : Comparaison économique des scénarios – Pour un ménage– Electricité.....	52
Figure 98 : Comparaison des montants d’investissements – Electricité.....	52
Figure 99 : Comparaison des coûts à l’exploitation - Electricité	53
Figure 100 : Comparaison environnementale des scénarios – Electricité	53
Figure 101 : Comparaison des taux d’EnR – Electricité	54
Figure 102 : Comparaison des émissions de GES – Electricité..	54
Figure 103 : Comparaison économique des scénarios – Global.....	55
Figure 104 : Comparaison économique des scénarios – Pour un ménage – Global	55

Figure 105 : Comparaison des montants d'investissements – Global.....	55
Figure 106 : Comparaison des coûts à l'exploitation - Global	56
Figure 107 : Comparaison environnementale des scénarios – Global	56
Figure 108 : Comparaison des taux d'EnR – Global.....	57
Figure 109 : Comparaison des émissions de GES – Global	57
Figure 110 : Bilan atouts-contraintes	58
Figure 111: Autoconsommation dans divers contextes (source : AT Kearney).....	63
Figure 112: Simulation d'un système photovoltaïque sur une maison individuelle (source : SER)	64
Figure 113 : Tarifs de vente de l'électricité photovoltaïque	65

ANNEXE

Autoconsommation électrique

5.1. Le principe

Par autoconsommation photovoltaïque, on entend la possibilité donnée à tout type de consommateur / producteur d'électricité de connecter une installation photovoltaïque, dimensionnée selon ses besoins, soit uniquement à son installation électrique, soit dans un mode de partage entre son installation électrique et le réseau local, selon les fluctuations de la production et de la consommation in situ.

L'objectif de l'installation photovoltaïque est donc plus de répondre, soit à sa propre consommation, soit à la consommation d'un ou plusieurs sites déterminés dans son voisinage, que de produire et vendre en totalité pour le réseau. L'électricité excédentaire continue d'être injectée sur le réseau local, cette production pouvant être valorisée de plusieurs manières.



FIGURE 111: AUTOCONSUMMATION DANS DIVERS CONTEXTES (SOURCE : AT KEARNEY)

La logique de l'autoconsommation n'est pas la recherche de l'autonomie mais plutôt celle de s'inscrire dans l'infrastructure locale du réseau associant production photovoltaïque, gestion intelligente de la demande et stockage. Cette orientation met donc en avant une multitude de situations d'autoconsommation à laquelle est associée une multitude de modèles d'affaires possibles :

- L'autoconsommation totale : Du point de vue d'ErDF, on parle d'autoconsommation totale lorsque l'installation est reliée au réseau mais qu'elle n'a pas de compteur de production. L'électricité est soit consommée instantanément par le producteur, soit injectée gratuitement sur le réseau.
- La vente en surplus : Dans le cas de la vente en surplus, l'installation est reliée au réseau avec un compteur de production positionnée sur le même branchement que le compteur de consommations. L'électricité est soit consommée instantanément par le producteur, soit injectée sur le réseau et vendue.
- Vente en totalité : Dans le cas de la vente en totalité, l'installation est reliée au réseau avec un compteur de production en parallèle du compteur de consommation. L'électricité est injectée et vendue sur le réseau. Une partie peut être consommée par le producteur si la consommation et la

production ont lieu simultanément : dans ce cas, l'électricité produite est d'abord vendue via le compteur de production puis directement achetée via le compteur de consommation.

- Compteurs "qui tournent à l'envers" : Dans cette configuration, soit l'électricité produite est consommée directement par le producteur, soit l'électricité produite est injectée sur le réseau. Dans ce deuxième cas, le compteur de consommation tourne à l'envers, compensant ainsi une consommation antérieure.
- Sites isolés : Enfin, dans le cas des sites isolés, l'installation n'est tout simplement pas raccordée au réseau. L'intégralité de la production revient au producteur. L'électricité qui n'est pas consommée directement est alors perdue si elle n'est pas reliée à un dispositif de stockage.

5.2. Taux d'autoconsommation

Finalement, quelle que soit l'option de raccordement choisie, le producteur autoconsomme la même portion d'électricité produite par le photovoltaïque, sauf s'il met en place des systèmes de stockage ou des systèmes permettant d'adapter la consommation aux périodes de production d'électricité solaire. On estime que 20 à 30 % (pour des installations résidentielles sans dispositif de stockage) de la production est ainsi autoconsommée.

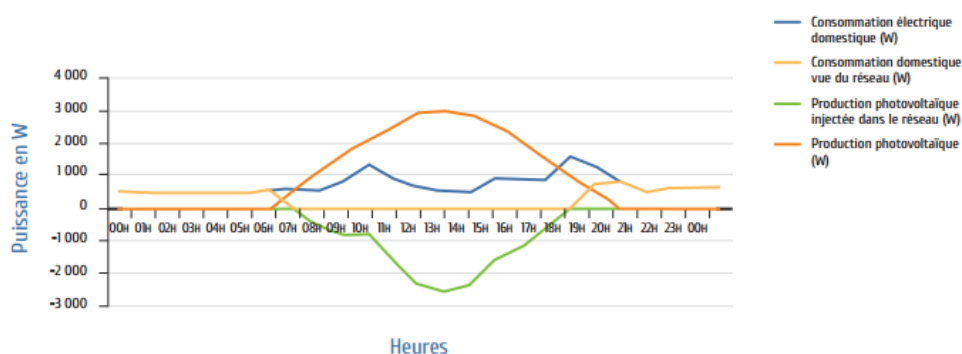


FIGURE 112: SIMULATION D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE SUR UNE MAISON INDIVIDUELLE (SOURCE : SER)

Une étude allemande de l'Institut de recherche en économie écologique de Berlin datée de 2011 a évalué l'autoconsommation du flux électrique atteignable pour des ménages allant de 2 à 4 personnes, sur des installations de 3 à 5 kWc avec des productions de 800 à 1 000 kWh/kWc annuels, et sur différents profils de consommation, sans système de stockage.

D'après l'étude citée ci-dessus, l'utilisation de systèmes de stockage de petites et de moyennes tailles (inférieurs à 7,5 kWh) entraîne une forte progression du taux d'autoconsommation qui peut atteindre 40 % voire plus de 90 %. Compte tenu de la productivité faible du photovoltaïque durant les mois hivernaux dans les scénarii examinés par l'étude citée, l'autonomie énergétique complète est impossible.

Toujours selon la même étude, les coûts des systèmes de stockage restent onéreux, de l'ordre de 1 000 €/kWh de capacité de stockage pour les batteries lithium-ion par exemple et avec un rendement escompté plus faible que celui des installations qui pratiquent l'autoconsommation sans stockage. Même si avec une durée de vie de 20 ans indiquée par les fabricants, l'utilisation d'un système de stockage de 5 kWh peut se révéler viable bientôt, il reste qu'au vu de leur prix, il peut être plus pertinent de mutualiser un dispositif de stockage à l'échelle d'un bâtiment, d'un quartier ou d'un système électrique.

5.3. Application au projet

Compte tenu des tarifs de vente de l'électricité photovoltaïque et des prix d'achat de l'électricité depuis le réseau actuels, il est pour le moment plus intéressant de procéder à une revente totale de l'électricité produite par les panneaux solaires hybrides et photovoltaïques.

Type d'installation		Tarifs en vigueur pour les installations dont la demande complète de raccordement a été envoyée :	
		entre le 1er janvier 2016 et le 31 mars 2016	entre le 1er avril 2016 et le 30 juin 2016
Intégrée au bâti ¹	[0-9kW]	25,01 c€/kWh	24,63 c€/kWh
Intégrée simplifiée au bâti ¹	[0-36kW]	13,82 c€/kWh	13,27 c€/kWh
	[36-100kW]	13,13 c€/kWh	12,61 c€/kWh
Tout type d'installation	[0-12MW]	5,96 c€/kWh	5,80 c€/kWh

¹ Les critères techniques d'intégration au bâti et d'intégration simplifiée au bâti sont définis à l'Annexe 2 de l'arrêté du 4 mars 2011 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil telles que visées au 3° de l'article 2 du décret n° 2000-1196 du 6 décembre 2000. (à consulter sur [Légifrance](#))

FIGURE 113 : TARIFS DE VENTE DE L'ÉLECTRICITÉ PHOTOVOLTAÏQUE

Cependant, l'évolution de ces 2 variables étant contraire, il deviendra prochainement plus avantageux d'auto-consommer en priorité l'électricité produite et de ne diriger vers le réseau électrique que le surplus.

Dans tous les cas, le recours à des moyens de stockage de l'électricité (batteries), ne sont pas pertinents à l'heure actuelle dans un contexte où le réseau national fait office de stockage. En effet, le coût supplémentaire est tel qu'il ne permet aucun avantage économique dans un futur proche.

Dans ce cadre, le ministère de l'environnement s'apprête à lancer un appel d'offre pour les projets d'autoconsommation électrique. Cependant, cet appel d'offre ne s'intéressera a priori qu'aux projets entre 100 et 500 kW de puissance électrique installée. Or à l'heure actuelle, il est plus pertinent économiquement de considérer chaque toiture comme un projet à part entière afin de bénéficier du tarif de vente le plus intéressant (intégration au bâti et puissance inférieure à 9 kWc). Si la gestion de ces toitures se fait de manière commune, le projet pourrait être éligible à un tel appel d'offre.

L'autoconsommation n'apparaît pas encore à l'heure actuelle comme la solution la plus avantageuse économiquement. Mais en fonction de l'évolution des tarifs d'achat de l'électricité par EDF et des prix de vente de l'électricité, cet équilibre sera modifié à plus ou moins long terme. Il convient donc de rester attentif à ces évolutions afin d'ajuster la stratégie si besoin.