



RAPPORT

# Evaluation du potentiel en énergies renouvelables et réseaux de chaleur

## Rapport Phase 2

Projet d'ensemble immobilier Jaurès/Berteaux à Sartrouville (78)

Septembre 2021

ALTAREA



## CLIENT

RAISON SOCIALE	ALTAREA COGEDIM DEVELOPPEMENT URBAIN
COORDONNÉES	87 rue de Richelieu 75002 PARIS
INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i>	Candice PIGEARD Tél. 07.68.50.91.58

## SCE

COORDONNÉES	9 – 11 boulevard du Général de Gaulle 92120 MONTROUGE Tél. 01. 55. 58. 13. 20 sce@sce.fr
INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i>	Laura SERVAJEAN Tél. 01. 55. 58. 13. 20 Port. 07. 86. 75. 61. 58 laura.servajeau@sce.fr

## RAPPORT

TITRE	Evaluation du potentiel en énergies renouvelables et réseaux de chaleur – Rapport Phase 2
NOMBRE DE PAGES	47
NOMBRE D'ANNEXES	0
OFFRE DE RÉFÉRENCE	P21000582 – Février 2021

## SIGNATAIRE

RÉFÉRENCE	DATE	RÉVISION DU DOCUMENT	OBJET DE LA RÉVISION	RÉDACTEUR	CONTRÔLE QUALITÉ
210175	07/09/21	V0	-	AEN	BOI

## Sommaire

1. Contexte de l'étude.....	5
1.1. Objet de l'étude.....	5
1.2. Situation du projet.....	5
1.3. Descriptif du projet.....	6
1.4. Bilan programmatique .....	7
2. Définition des consommations .....	8
2.1. Réglementation Thermique 2012 et Réglementation Environnementale 2020 .....	8
2.2. Bâtiment collectif d'habitation neuf.....	9
2.3. Résidence sociale pour étudiants .....	10
2.4. Commerces .....	10
2.5. Répartition des consommations .....	11
3. Bilan des consommations .....	11
4. Potentiel en énergies renouvelables et non renouvelables.....	13
4.1. La géothermie.....	13
4.2. La filière bois .....	16
4.3. Le solaire .....	18
4.3.1. Généralités .....	18
4.3.2. Solaire photovoltaïque.....	18
4.3.3. Solaire thermique .....	19
4.4. L'éolien .....	20
4.4.1. Le grand éolien.....	20
4.4.2. Le petit éolien .....	21
4.5. Raccordement à un réseau de chaleur urbain .....	22
4.5.1. Energies de récupération ou énergies fatales.....	22
4.5.2. Extension d'un réseau de chaleur existant .....	23
4.6. Pompe à chaleur air/eau électrique.....	24
4.7. Pompe à chaleur à absorption gaz.....	25
4.8. Chaudière gaz .....	26
5. Revue des énergies renouvelables envisageables.....	27
6. Comparaison des solutions d'approvisionnement énergétique .....	29
6.1. Généralités .....	29
6.1.1. Chaufferie collective gaz par immeuble – Scénario de base .....	30
6.1.2. Chaufferie collective bois/gaz par immeuble.....	30
6.1.3. Chaufferie collective bois/gaz par immeuble et mix solaire thermique .....	30

6.1.4. Chaufferie collective bois/gaz pour l'ensemble du périmètre d'étude .....	31
6.1.5. Pompe à chaleur air/eau électrique pour le supermarché et chaufferie collective gaz/bois pour l'ensemble du périmètre d'étude .....	31
7. Comparatif des scénarios pour la desserte en chauffage et eau chaude sanitaire .....	32
7.1. Introduction .....	32
7.2. Hypothèses de calcul du coût kWh .....	33
7.2.1. Coûts d'énergie (P1) et facteurs d'émission CO <sub>2</sub> .....	33
7.2.2. Evolution des prix (P1) .....	33
7.2.3. Hypothèses pour les coûts de conduite et maintenance (P2).....	34
7.2.4. Hypothèses pour les coûts d'investissement, gros entretien, renouvellement (P3 – P4) .....	34
7.2.5. Coût global (P1 – P2 – P3 – P4) .....	34
7.2.6. Rappel de la limite principale de la modélisation du coût global.....	34
7.3. Résultats du comparatif des solutions étudiées.....	35
7.3.1. Analyse du coût de fourniture d'énergie (P1).....	35
7.3.2. Analyse du coût de conduite et de maintenance P2 .....	36
7.3.3. Analyse du coût investissement et gros entretien P3 – P4 .....	37
7.3.4. Analyse du coût global et du surcoût global cumulé .....	38
7.3.5. Résultat du comparatif émissions de CO <sub>2</sub> .....	40
7.3.6. Synthèse du comparatif.....	41
8. Energies renouvelables pour la desserte en électricité.....	42
8.1. Consommation d'électricité .....	42
8.2. Energie photovoltaïque.....	43
8.2.1. Généralités .....	43
8.2.2. Production photovoltaïque.....	43
9. Conclusion .....	45

## 1. Contexte de l'étude

### 1.1. Objet de l'étude

Cette opération d'aménagement entre dans le cadre de l'article n°8 de la loi n°2009-967 du 3 août 2009, par le biais de l'article L. 128-4 du Code de l'Urbanisme.

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

Réalisée conformément aux textes réglementaires en vigueur, cette étude a pour objet de comparer la pertinence technique, environnementale et financière de plusieurs scénarios de desserte énergétique.

L'objet de ce rapport est :

- ▶ D'étudier les différentes opportunités de dessertes énergétiques utilisant des énergies renouvelables ainsi que la possibilité ou non de création ou d'extension d'un réseau de chaleur ;
- ▶ De présenter, en première approche, un comparatif technico-économique et environnemental permettant d'orienter la Maîtrise d'Ouvrage vers des solutions techniques pertinentes.

### 1.2. Situation du projet

Le projet se situe dans le département des Yvelines sur la commune de Sartrouville. Le projet d'ensemble immobilier Jaurès/Berteaux prévoit la rénovation et la construction de 3 lots composés de logements ainsi que d'un supermarché.

**Le projet d'aménagement envisagé aujourd'hui porte sur une surface d'environ 45 870 m<sup>2</sup> (SDP).**

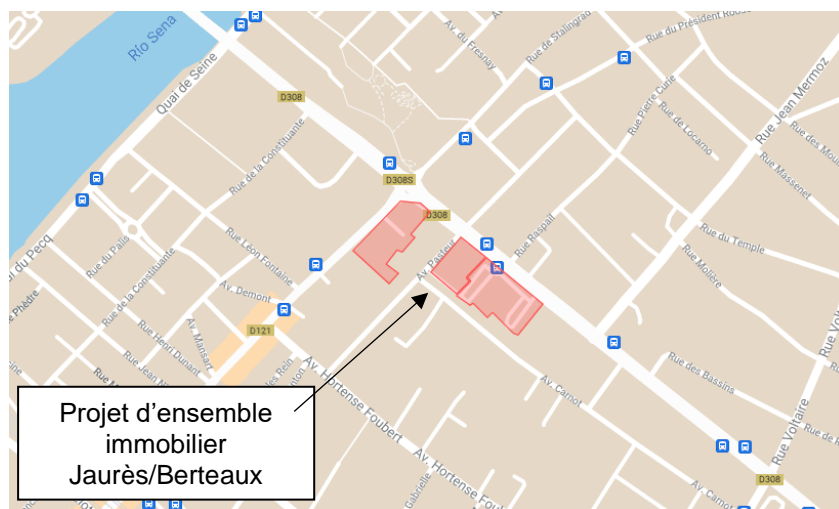


Figure 1: Localisation du projet (Source : Google Maps)



Figure 2 : Périmètre d'aménagement (Source : Google Earth)

### 1.3. Descriptif du projet

Il se compose de 3 îlots incluant un supermarché, des logements collectifs, une résidence étudiante, ainsi qu'une résidence senior.

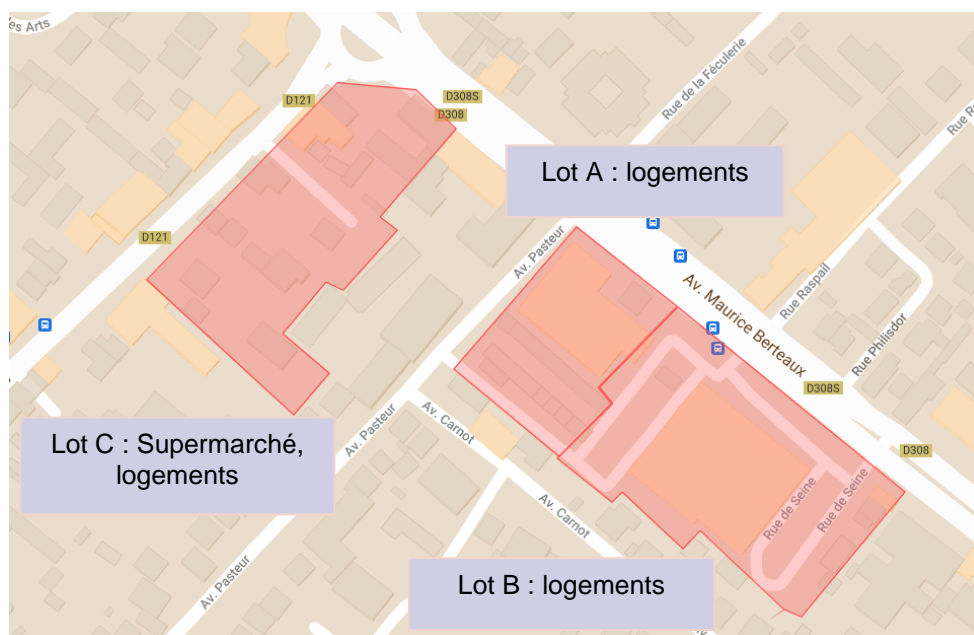


Figure 3 : Schéma d'aménagement (Source : Google Maps)

## 1.4. Bilan programmatique

Le programme constructif définit la surface et le nombre de logements par îlot.

	Lot	Nombre de bâtiments	SDP m2	SHON RT logement (1,1*SDP)	Nbre logements	Type de bâtiment	Phasage
1	C	1	19670	21637	204	Commerces + résidence étudiante + résidence senior + logements collectifs	2025
2.1	B	2	17000	18700	280	Logements collectifs	2027
2.2	A	1	9200	10120	153	Logements collectifs	2027

## 2. Définition des consommations

### 2.1. Réglementation Thermique 2012 et Réglementation Environnementale 2020

L'estimation des consommations des bâtiments neufs de l'opération est réalisée sur la base des consommations réglementaires RT2012 maximales ( $CEP_{max}$ ). La valeur du  $Cep_{max}$  dépend de plusieurs facteurs, dont l'usage du bâtiment. Les estimations du  $Cep_{max}$  sont présentées ci-après.

À noter que la livraison de programmes neufs à partir de 2022 implique que ces derniers seront soumis à la Réglementation Environnementale RE2020. Pour estimer les niveaux de consommations énergétiques, nous nous appuyons sur l'expérimentation E+C- qui a servi à la définition de la future réglementation.

L'ambition de performance énergétique et environnementale souhaitée correspond au niveau E2. Les hypothèses calculatoires de cette étude se baseront donc sur un niveau RT2012-15% pour les logements et les commerces.

Les tableaux ci-dessous détaillent les hypothèses de calcul permettant d'estimer le  $CEP_{max}$ .

La surface thermique indiquée dans le formulaire ci-dessous correspond à la surface utilisée dans le calcul de réglementation thermique (SRT). Elle est estimée en appliquant un coefficient de 1.1 à la surface de plancher donnée dans les éléments du programme. Cependant, cette valeur n'a pas d'influence sur le calcul du  $CEP_{max}$ .



## 2.2. Bâtiment collectif d'habitation neuf



**RÉGLEMENTATION  
THERMIQUE  
2012**

*Réglementation Thermique 2012 - Neuf*

**Détermination des  $B_{bio\ max}$  et  $Cep\ max$**

**et des niveaux Effinergie+ et BEPOS-Effinergie**



Version 4.4

→ Entrée en vigueur à partir du 1er janvier 2013

→ Arrêté 26-10-2010
→ Arrêté 11-12-2014
→ Arrêté 19-12-2014
→ Effinergie

→ Bâtiments CE1 et CE2 et classes d'exposition au bruit (BRI) d'une baie d'un bâtiment


Date de dépôt du permis de construire avant le 1 <sup>er</sup> janvier 2018 ?	Non
Département ?	78 - Yvelines
Zone climatique ?	H1a
Altitude (m) ?	0 à 400 m
Type de construction ?	Construction neuve
Nombre de niveaux du bâtiment (Nniv) ?	5 ou +
Type de bâtiment ?	Bâtiment collectif d'habitation
Nombre de logements (N <sub>l</sub> ) ?	
Catégorie de bâtiment ?	CE1
Surface thermique S <sub>RT</sub> (m <sup>2</sup> ) ?	8000
Source d'énergie principale utilisée ?	Autre source d'énergie (gaz, fioul, électricité...)
Réseau de chaleur ?	00 - Aucun réseau de chaleur
Réseau de froid ?	
<b>Cep<sub>max</sub> (kWh<sub>ep</sub>/an.m<sup>2</sup> S<sub>RT</sub>) =</b>	<b>50,00</b>
Consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire d'un bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage artificiel des locaux, les auxiliaires de chauffage, de refroidissement, d'eau chaude sanitaire et de ventilation, déduction faite de l'électricité produite à demeure.	

Compte tenu du nombre de logements et de leur répartition sur plusieurs bâtiments, le calcul a été fait en prenant la moyenne des surfaces et du nombre de logements par bâtiment neuf.

La donnée concernant la résidence senior n'étant pas disponible, nous utiliserons la donnée des bâtiments collectifs d'habitation neufs dans le cadre du projet.

**La CEP<sub>max</sub>-15% pour les logements collectifs et la résidence senior est de 50 kWh<sub>ep</sub>.m<sup>2</sup>/an.**


## 2.3. Résidence sociale pour étudiants




**Réglementation Thermique 2012 - Neuf**

**Détermination des  $B_{bio_{max}}$  et  $Cep_{max}$**

**et des niveaux Effinergie+ et BEPOS-Effinergie**



Version 4.4



→ Entrée en vigueur à partir du 1er janvier 2013


→ Arrêté 26-10-2010
→ Arrêté 11-12-2014
→ Arrêté 19-12-2014
→ Effinergie

→ Bâtiments CE1 et CE2 et classes d'exposition au bruit (BRI) d'une baie d'un bâtiment

Date de dépôt du permis de construire avant le 1 <sup>er</sup> janvier 2018 ?	Non
Département ?	78 - Yvelines
Zone climatique ?	H1a
Altitude (m) ?	0 à 400 m
Type de construction ?	Construction neuve
Nombre de niveaux du bâtiment (Nniv) ?	5 ou +
Type de bâtiment ?	Cité universitaire
Nombre de logements (N <sub>l</sub> ) ?	
Catégorie de bâtiment ?	CE1
Surface thermique S <sub>RT</sub> (m <sup>2</sup> ) ?	700
Source d'énergie principale utilisée ?	Autre source d'énergie (gaz, fioul, électricité...)
Réseau de chaleur ?	00 - Aucun réseau de chaleur
Réseau de froid ?	
<b>Cep<sub>max</sub> (kWh<sub>ep</sub>/an.m<sup>2</sup> S<sub>RT</sub>) =</b>	<b>108,00</b>
Consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire d'un bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage artificiel des locaux, les auxiliaires de chauffage, de refroidissement, d'eau chaude sanitaire et de ventilation, déduction faite de l'électricité produite à demeure.	

**La CEP<sub>max</sub> -15% pour la résidence sociale pour étudiants est de 108 kWh<sub>ep</sub>.m<sup>2</sup>/an.**


## 2.4. Commerces




**Réglementation Thermique 2012 - Neuf**

**Détermination des  $B_{bio_{max}}$  et  $Cep_{max}$**

**et des niveaux Effinergie+ et BEPOS-Effinergie**



Version 4.4



→ Entrée en vigueur à partir du 1er janvier 2013

→ Arrêté 28-12-2012
→ Arrêté 11-12-2014
→ Effinergie

→ Bâtiments CE1 et CE2 et classes d'exposition au bruit (BRI) d'une baie d'un bâtiment

Département ?	78 - Yvelines
Zone climatique ?	H1a
Altitude (m) ?	0 à 400 m
Type de construction ?	Construction neuve
Nombre de niveaux du bâtiment (Nniv) ?	1
Type de bâtiment ?	Commerces
Catégorie de bâtiment ?	CE1
Surface thermique S <sub>RT</sub> (m <sup>2</sup> ) ?	360
Source d'énergie principale utilisée ?	Autre source d'énergie (gaz, fioul, électricité...)
Réseau de chaleur ?	
Réseau de froid ?	
<b>Cep<sub>max</sub> (kWh<sub>ep</sub>/an.m<sup>2</sup> S<sub>RT</sub>) =</b>	<b>287,34</b>
Consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire d'un bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage artificiel des locaux, les auxiliaires de chauffage, de refroidissement, d'eau chaude sanitaire et de ventilation, déduction faite de l'électricité produite à demeure.	

**La CEP<sub>max</sub> -15% pour les commerces est de 287,34 kWh<sub>ep</sub>.m<sup>2</sup>/an.**

## 2.5. Répartition des consommations

Le CEP<sub>max</sub> englobe les 5 postes réglementaires suivants : chauffage, eau chaude sanitaire (ECS), rafraîchissement, éclairage et auxiliaires de ventilation. Le tableau suivant présente les hypothèses de répartition des consommations.

Répartition par postes								
Type de bâtiment	Chauffage	ECS	Eclairage	Auxiliaires	Electricité spécifique	Climatisation	EnR	Total
Résidentiel	Logt collectif	38%	40%	11%	11%	0%	0%	100%
	Résidence étudiante	37%	14%	27%	22%	0%	0%	100%
Tertiaire	Commerces	4%	1%	72%	2%	0%	21%	100%

A cela nous ajoutons un 6<sup>ème</sup> poste non réglementaire concernant les consommations des appareils électriques et du process, appelé « Electricité spécifique ». Il est défini selon la méthode d'évaluation du label E+/C-.

Ainsi, les hypothèses de ratios des consommations primaires sont les suivantes :

RE2020								
Réduction vis-à-vis RT2012	Logements collectifs bureaux	15% équivalent Effnergie +						
Compensation Enr		30%						
		0%						
Type de bâtiment	Chauffage	ECS	Eclairage	Auxiliaires	Electricité spécifique	Climatisation	EnR	Total
Résidentiel	Logt collectif	16	17	5	5	70	0	113
	Résidence étudiante	34	13	25	20	85	0	177
Tertiaire	Commerces	9	3	176	5	100	51	344

Les pourcentages ci-dessus, ainsi que les ratios utilisés ont été revus pour inclure la climatisation dans le supermarché.

## 3. Bilan des consommations

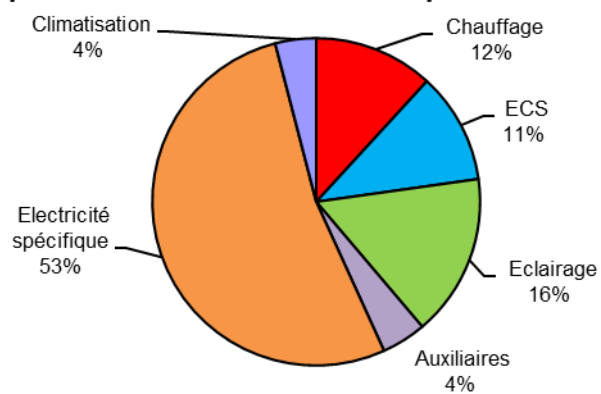
Sur la base des ratios de consommations et du programme constructif, les consommations du projet sont les suivantes, en MWh<sub>ep</sub>.an, avec une répartition en % :

### Consommation primaire en MWhep

	Total (MWh)
Chauffage	848
ECS	788
Eclairage	1 153
Auxiliaires	316
Electricité spécifique	3 792
Climatisation	290
<b>total</b>	<b>7 187</b>

Les valeurs ci-dessus ont changé par suite de la modification des pourcentages dans la partie « Répartition des consommations », pour faire ainsi apparaître la climatisation dans le supermarché.

### Répartition des consommations primaires



Les consommations thermiques relevant du chauffage et de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) représentent 1 636 MWh<sub>ep</sub>/an.

## 4. Potentiel en énergies renouvelables et non renouvelables

### 4.1. La géothermie

La géothermie est une énergie locale, basée sur la récupération de la chaleur de la terre par l'exploitation des ressources du sous-sol, qu'elles soient aquifères ou non. Pour l'exploitation de la chaleur contenue dans le sous-sol, plusieurs technologies sont envisageables selon la température de la ressource.

On distingue généralement :

- ▶ La géothermie **très basse énergie** (température inférieure à 30°C) : la température de la ressource qui provient généralement d'un aquifère superficiel et parfois intermédiaire, ne permet pas un usage direct. La chaleur est souvent valorisée à l'échelle d'un bâtiment résidentiel ou tertiaire, grâce à l'installation de pompes à chaleur (PAC) sur aquifères superficiels ou sur champs de sondes (récupération de la chaleur du sol) ;
- ▶ La géothermie **basse énergie** (température comprise entre 30 et 90°C) : la chaleur est souvent valorisée dans un réseau de chaleur géothermique à l'aide d'un simple échangeur ou par utilisation directe ;
- ▶ La géothermie **haute énergie** (température supérieure à 150°C) : permet de produire de la vapeur pour l'alimentation notamment des centrales électriques.

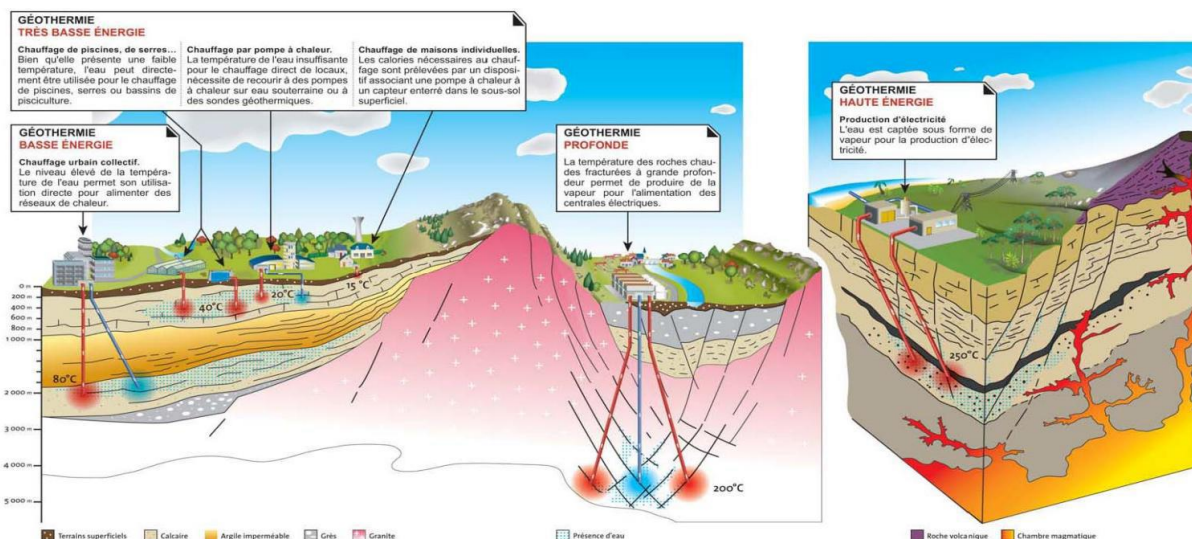


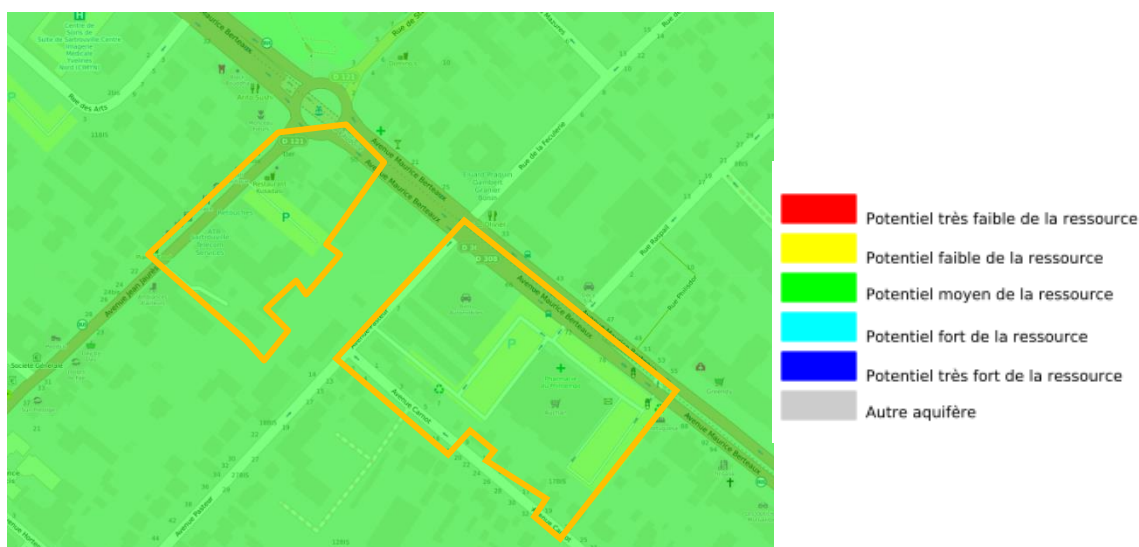
Figure 4 : Techniques d'exploitation de la géothermie (Sources : BRGM, ADEME)

Les enjeux du développement de la géothermie sont les suivants :

- ▶ **Quantification des puissances disponibles** : la quantification des ressources disponibles passe par une connaissance approfondie des aquifères disponibles. Pour une géothermie basse ou haute température, l'ensemble de l'énergie extraite doit également pouvoir être valorisé par une demande énergétique suffisante en surface afin que l'installation soit techniquement et économiquement pertinente ;
- ▶ **Aspect environnemental** : le principal enjeu environnemental lié aux installations géothermiques est le risque de pollution des eaux souterraines. Dans le cas de la géothermie basse énergie sur nappe ou par sonde, les forages peuvent mettre en communication des nappes superposées et de qualités différentes, et donc induire une possibilité de contamination d'une eau potable par une eau polluée. Par ailleurs, les forages peu étanches ou abandonnés sont des voies d'infiltration directe des eaux de ruissellement (donc polluées) vers les eaux souterraines (filtrées) ;
- ▶ **Aspect réglementaire** : compte tenu des enjeux environnementaux, la réglementation joue un rôle dominant dans le développement de la géothermie par forage, car elle est relativement complexe et contraignante. Le développement d'un projet est de ce fait très long, au vu des études et des procédures nécessaires.

Les installations doivent respecter :

- ▶ Le code Minier, 200 mètres ;
- ▶ La loi sur l'Eau (en fonction du débit d'eau prélevé ou réinjecté, les installations géothermiques relèvent d'un régime d'autorisation ou de déclaration administrative).



**Figure 5 : Potentiel géothermique du site (Source : Portail Géothermies, BRGM)**

Concernant la géothermie basse énergie, Sartrouville est concernée par la Nappe des Alluvions qui présente un potentiel moyen. Toutefois, le potentiel géothermique est à analyser de manière géolocalisée en fonction des ressources géothermales disponibles en surface ou en profondeur, rapportées aux besoins thermiques des utilisateurs en surface.

**Solution à étudier compte tenu de la faible étendue du périmètre d'étude.**

Concernant la géothermie très basse énergie, celle-ci demande une surface minimale disponible afin de mettre en place le champ de sondes.

**Solution à étudier au vu du contexte urbain du projet.**

## 4.2. La filière bois

Au niveau écologique, le chauffage biomasse est une opération neutre car le bilan carbone est nul. En effet, la quantité de CO<sub>2</sub> dégagée lors de la combustion du bois est comparable à celle produite naturellement lors de sa décomposition. Cette quantité de CO<sub>2</sub> correspond à celle qui a été extraite de l'air pour la photosynthèse au cours de la croissance de l'arbre. Un équilibre est de la sorte obtenu. Le bilan théorique sur le CO<sub>2</sub> produit est donc neutre.

Au niveau de la ressource, bien exploiter la forêt contribue à sa bonne santé et à sa pérennité, une forêt non exploitée perdant de sa valeur marchande. En effet, la valorisation énergétique des déchets forestiers permet d'améliorer l'état sanitaire des forêts. En collectant les rémanents, la valorisation énergétique des déchets forestiers :

- ▶ Evite le développement et la propagation des parasites et des maladies ;
- ▶ Facilite les replantations ;
- ▶ Encourage les travaux sylvicoles tels que le dépressage ou les éclaircies.

L'utilisation du bois énergie permet également de valoriser les sous-produits et déchets de la filière « bois » en combustible. En effet, les entreprises du bois produisent, lors de la transformation du bois, une part importante de sous-produits et de déchets utilisables comme combustible.

Le combustible bois peut aussi provenir des bois de rebut collectés par les sociétés du déchet : une chaufferie bois peut alors valoriser ces déchets industriels banals s'ils ne contiennent pas de traitement.

Enfin, l'énergie bois est une ressource indépendante des crises énergétiques mondiales et de l'évolution globale du prix des énergies telles que le gaz et l'électricité.

Il existe 4 grandes sources d'approvisionnement en bois énergie :

- ▶ La ressource forestière issue de l'entretien des bois et massifs (forêts, parcs et jardins) ;
- ▶ Les produits connexes des industries du bois ;
- ▶ Les déchets de bois urbains non traités (emballages légers usagers, caisses) ;
- ▶ Bois de bords de route (linéaires des bords de route, élagage urbain).

Filière d'approvisionnement	Produits connexes pouvant servir de combustible
Exploitation forestière	Sciures, copeaux, écorces, plaquettes, chutes diverses
Industries de la première transformation (Sciage, déroulage, tranchage)	Écorces, sciures, plaquettes, chutes diverses
Industries de la seconde transformation (Transformations pour usage direct : meuble par ex.)	Écorces, sciures, plaquettes, chutes diverses
Bois de rebut	Plaquettes

**NOTA** : Seuls les bois n'ayant subi aucun traitement doivent être brûlés, une attention particulière doit donc être apportée au bois de récupération qui est susceptible d'avoir subi un traitement chimique (introduction de colle, vernis, peintures, etc....) qui peut engendrer lors de la combustion des dégagements toxiques, des encrassements importants des appareils et des rejets indésirables dans les cendres (métaux lourds par exemple avec les peintures).



En Ile de France, la surface forestière représente 23% du territoire régional (d'après l'IFN). Le Schéma Régional du Climat, de l'Air, et de l'Energie de la région Ile de France identifie la biomasse comme une énergie ayant un fort potentiel de développement, notamment pour l'alimentation des réseaux de chaleurs et des chaufferies centralisées à l'échelle d'un bâtiment.

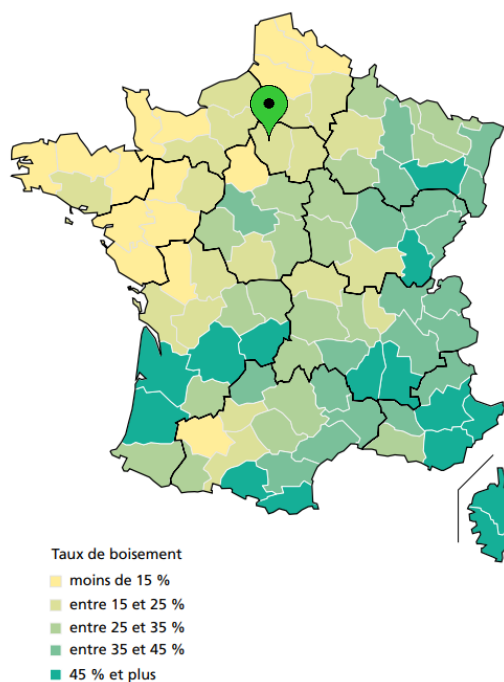


Figure 6 : Taux de boisement par département (Source : IFN)

**La mise en place de chaufferies bois est envisageable et sera étudiée.**

## 4.3. Le solaire

### 4.3.1. Généralités

Le rayonnement solaire moyen annuel est de 1 200 kWh/m<sup>2</sup> en Ile-de-France, soit seulement 30 % de moins que dans le sud de la France. Cependant, si l'ensoleillement moyen annuel est plus faible au Nord que dans le Sud de la France, l'énergie du soleil peut en revanche y être utilisée sur une plus grande période (saison de chauffe plus longue) et il suffit d'installer quelques surfaces de capteurs supplémentaires (environ 20%) pour capter la même quantité d'énergie que dans le sud de la France.

Cette énergie peut être utilisée via des capteurs solaires thermiques pour produire de la chaleur, avec comme application la plus courante : eau chaude sanitaire et/ou chauffage. Un tel système permet de capter 50 % de l'énergie incidente. L'énergie solaire peut permettre aussi de produire de l'électricité par des panneaux photovoltaïques.

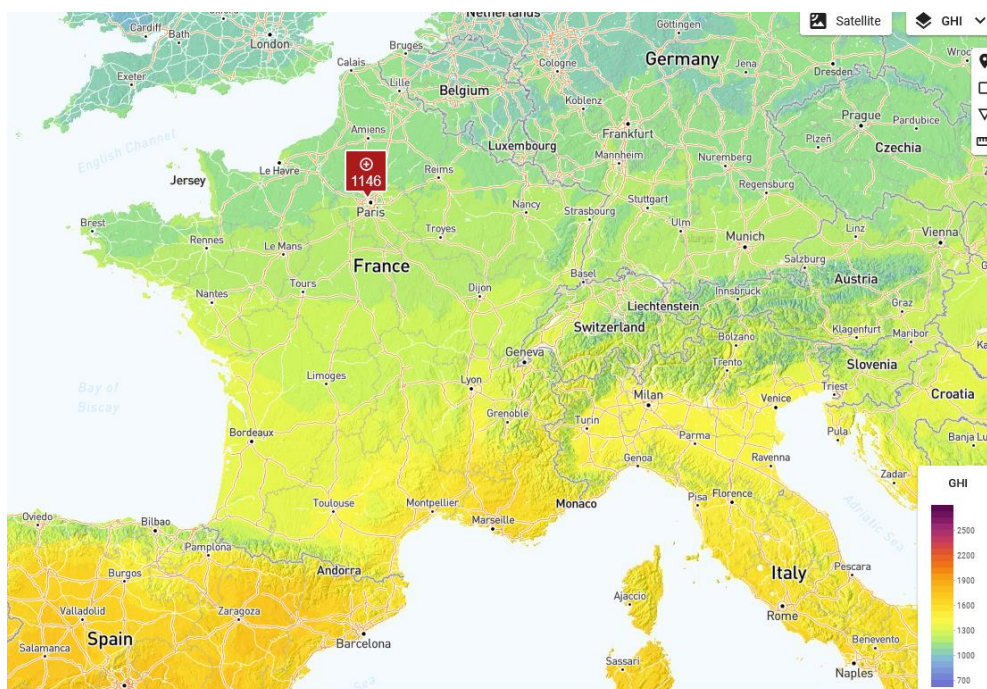


Figure 7 : Ensoleillement surfacique annuel en France (kWh/m<sup>2</sup>.an) (Source : CCR)

Cette approche est confirmée dans le SRCAE de la région Ile-de-France qui définit un intérêt significatif pour le développement de l'énergie solaire sur toute la région. Le recours aux énergies renouvelables solaires (photovoltaïque et thermique) sera donc pertinent sur le site de l'opération.

### 4.3.2. Solaire photovoltaïque

Les panneaux solaires photovoltaïques transforment l'énergie solaire, une énergie inépuisable et naturellement disponible, en électricité par le biais de cellules photovoltaïques. Chacune de ces cellules photovoltaïques délivre une tension de 0.5 à 0.6V. Le courant continu produit par ces panneaux est transformé par l'onduleur en courant alternatif compatible avec le réseau électrique.

La distinction entre autoconsommation et injection totale vers le réseau de distribution n'impacte pas le potentiel de production. Par ailleurs, la ressource est étudiée pour des installations en toiture, l'installation au sol étant inadéquate sur nos sites.

Cette solution est donc envisageable.

### 4.3.3. Solaire thermique

Le principe du solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire en chaleur à l'aide d'un absorbeur. Un absorbeur est un corps noir possédant des propriétés d'absorption très élevées et d'émissivité très basses. La chaleur est transférée par l'absorbeur à un fluide caloporteur, qui circule au travers de chacun des capteurs. Le fluide caloporteur achemine ainsi l'énergie solaire vers le ballon de stockage à travers un échangeur.

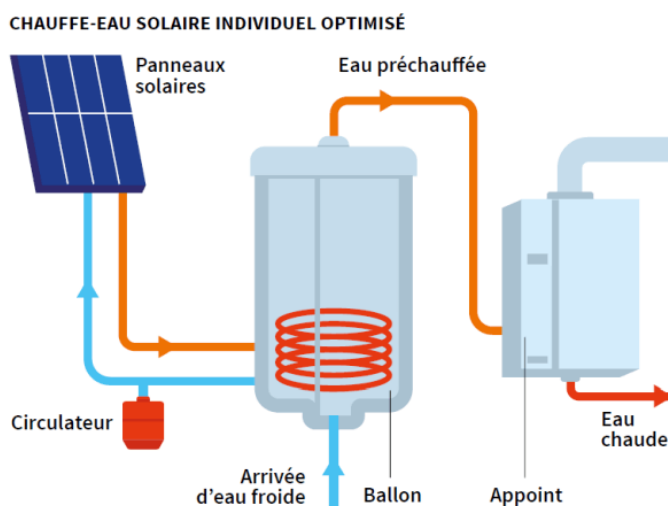


Figure 8 : Schéma de fonctionnement d'un capteur solaire thermique (Source : ADEME)

Le potentiel de développement du solaire thermique est étudié dans le cas de **Chauffe-Eau Solaire Individuel (CESI) et Collectif (CESC)**. La filière des Centrales Solaires Thermiques (CST) est écartée par l'inadéquation de cet équipement sur nos sites.

On estime, en théorie, qu'en Ile-de-France, 20 à 30% des besoins de chauffage et 30 à 50% des besoins en eau chaude sanitaire des pavillons ou des logements collectifs pourraient être couverts par le solaire thermique. En effet, l'installation de 8 m<sup>2</sup> de panneaux thermiques plans permettrait de couvrir 30 à 50% des besoins annuels en eau chaude d'un foyer de quatre personnes dont la consommation annuelle est estimée à 3 400 kWh (soit 120 et 170 litres par jour) par l'ADEME. Cela suppose une orientation plein sud des panneaux installés avec une inclinaison de 45° par rapport à l'horizontal.

Cette solution est donc retenue.

## 4.4. L'éolien

### 4.4.1. Le grand éolien

Une éolienne permet de convertir l'énergie du vent en énergie mécanique, elle-même transformée en électricité par une génératrice. Le critère communément admis est celui de la vitesse moyenne des vents à 50 m de hauteur du sol. En dessous de 4 m/s, les conditions technico économiques actuelles ne permettent pas de développer un projet. Cela devient possible entre 4 m/s et 5,5 m/s, sous réserve d'une étude de vent préalable. Le projet est en général jugé réalisable à partir de vitesse de vent de 5,5 m/s.

Deux contraintes réglementaires viennent encadrer les projets éoliens :

- ▶ Depuis le 15 juillet 2007, seules les installations implantées dans le périmètre d'une zone de développement éolien peuvent bénéficier de l'obligation d'achat de l'électricité produite ;
- ▶ L'implantation d'éoliennes ne peut se faire à moins de 500 m d'une habitation.

Afin de regarder le potentiel éolien sur le périmètre d'étude, nous nous baserons sur les éléments fournis dans le Schéma Régional Éolien (SRE) de l'Ile-de-France.

La carte suivante décrit les zones favorables pour le développement éolien.

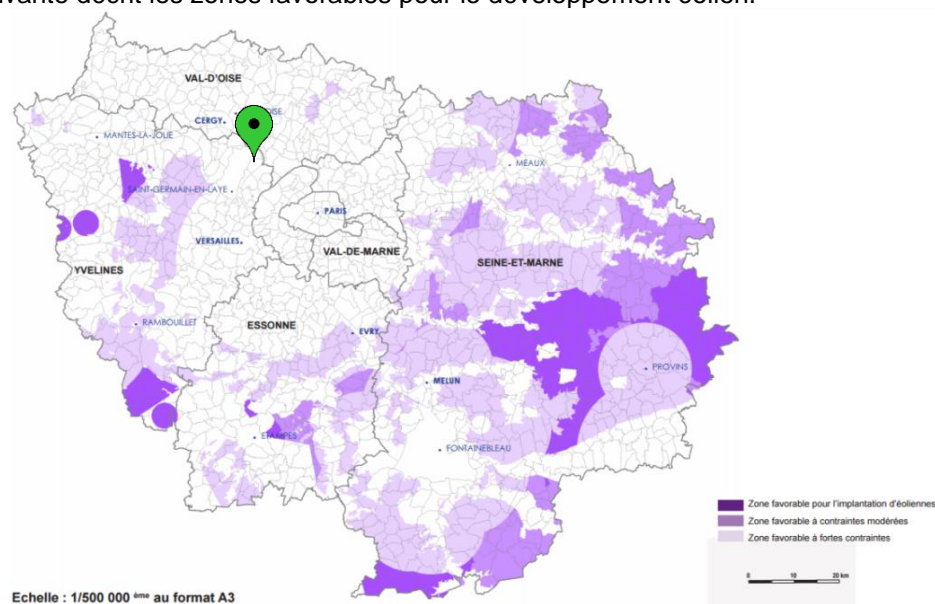


Figure 9 : Carte des zones favorables à l'éolien en région Ile-de-France (Source schéma régional éolien)

**Cette solution n'est donc pas retenue.**

#### 4.4.2. Le petit éolien

Le vent est, en milieu urbain, trop faible ou trop turbulent pour une exploitation rentable. De plus, cette technologie présente de nombreux contre-exemples :

- ▶ Intégré au bâtiment, les retours sur expérience montrent des problématiques de vibrations, d'usure prématurée des roulements... ;
- ▶ En mâts inférieurs à 12 mètres, cette technologie relève d'études spécifiques à chaque implantation.

Au niveau des études globales, cette technologie n'est pas retenue. Des études spécifiques au cas par cas pourraient cependant permettre l'implantation de petit éolien.

À noter que selon le Schéma Régional Éolien, Sartrouville n'est pas identifiée comme une commune favorable au développement de l'éolien.

**L'intégration à l'opération de ce type d'installation sur le parc est donc très limitée et non retenue.**

## 4.5. Raccordement à un réseau de chaleur urbain

Un réseau de chaleur est un système de distribution de chaleur produite de façon centralisée. Il permet donc de desservir plusieurs sites. Il peut comprendre une ou plusieurs unités de production de chaleur. La chaleur peut être générée à partir de diverses sources d'énergies telles que les énergies conventionnelles, les énergies renouvelables, ou les énergies de récupération.

### 4.5.1. Energies de récupération ou énergies fatales

La Région Ile de France compte 18 unités d'incinération des ordures ménagères (UIOM) en fonctionnement. Les UIOM peuvent « libérer » la valeur énergétique des déchets afin de fournir de la chaleur, de la vapeur ou de l'électricité.

La carte de l'implantation territoriale et des tonnages admis est la suivante :

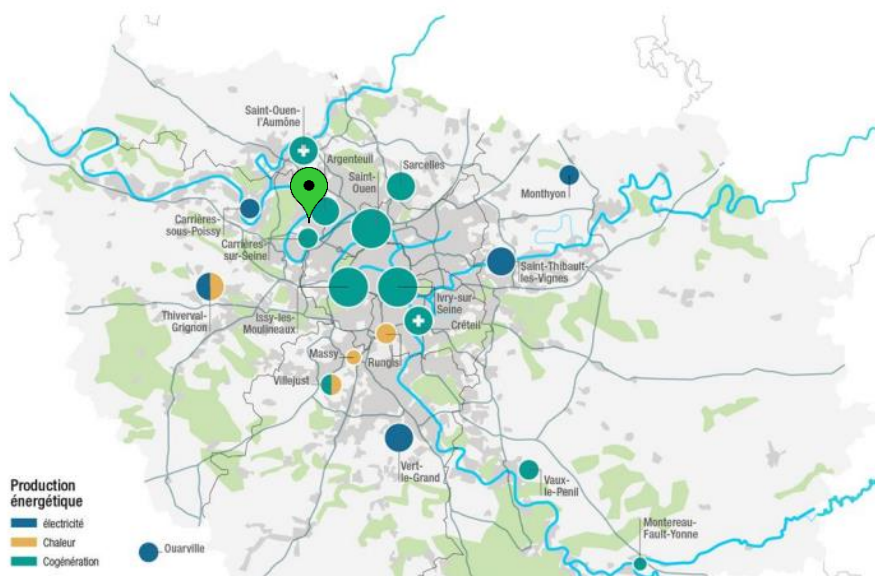


Figure 10 : Localisation des UIOM en Ile de France (Source : ADEME, ORDIF)

#### 4.5.2. Extension d'un réseau de chaleur existant

La carte d'implantation des réseaux de chaleur urbains (RCU) est la suivante :

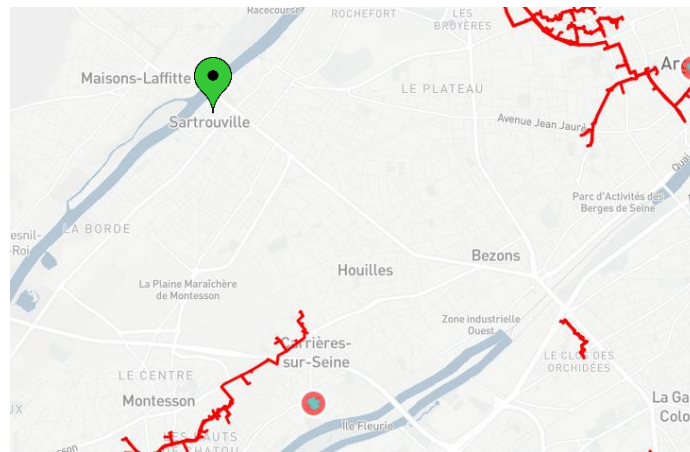


Figure 11 : Implantation du réseau de chaleur urbain près de Sartrouville (Source : Via Sèva)

Sartrouville ne compte pas avec un réseau de chaleur. En vue de la distance entre les réseaux de chaleur existants dans la région et le périmètre d'étude, il ne serait pas intéressant de raccorder la zone au réseau de chaleur.

**La solution n'est pas pertinente en raison de la distance entre les réseaux de chaleur existants et le périmètre d'étude, cette solution n'est donc pas retenue.**

## 4.6. Pompe à chaleur air/eau électrique

La ressource étudiée ici concerne la mise en œuvre de pompes à chaleur air/eau électriques dites de « très basse énergie ».

Théoriquement, pour 1 kWh d'électricité consommé, la pompe à chaleur restitue de 2,5 à 5 kWh en fonction du Coefficient de Performance (COP) de chaque modèle. Le COP d'une pompe à chaleur diminue quand la température demandée à sa sortie augmente. En période hivernale, lors de températures extérieures très froides, la performance de la PAC se dégradera.

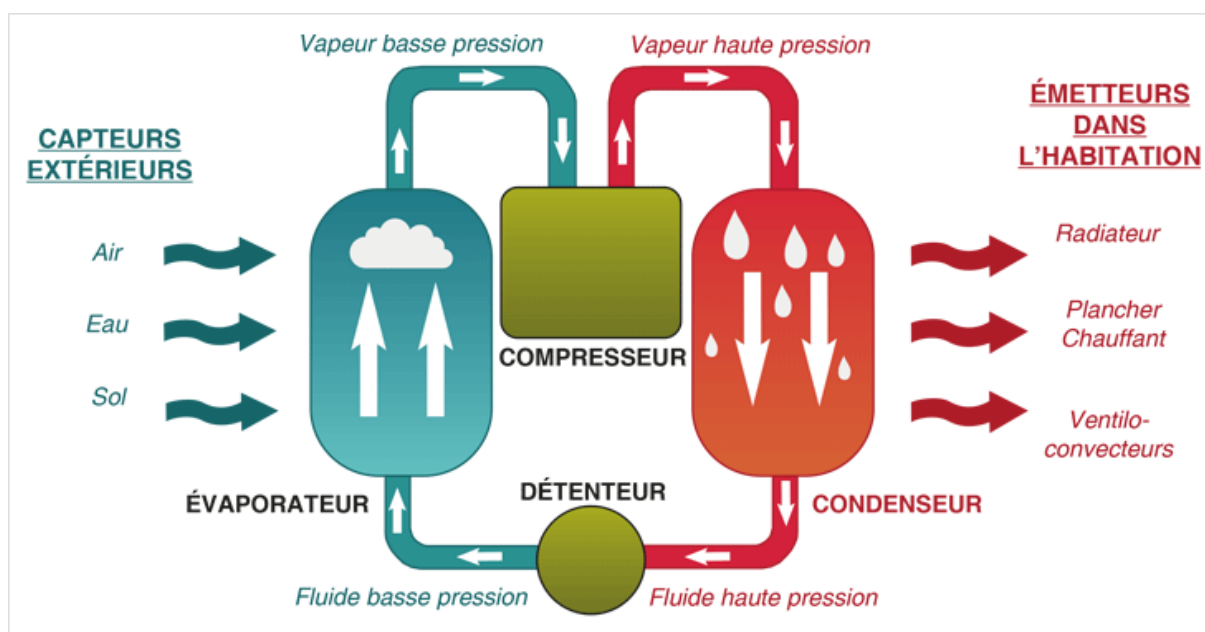


Figure 12 : Schéma du principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur électrique (Source : FT Media)

Une pompe à chaleur électrique peut être implantée quasiment partout dès lors qu'un accès à l'électricité est possible, ce qui est notre cas. Ce type de système a ses limites dans les zones où la température extérieure en hiver est très faible sur des périodes continues et longues.

Cette solution est particulièrement adaptée aux bâtiments neufs sur lesquels il est possible de mettre en place des émetteurs fonctionnant avec des régimes de températures plus bas.

L'utilisation d'une pompe à chaleur semble intéressante, en particulier pour le supermarché car il doit refroidir en continu les rayons froids et doit chauffer le reste de la surface l'hiver. La pompe à chaleur pourrait donc être une bonne solution pour le supermarché et sera étudiée.

**Cette solution est donc retenue pour le supermarché.**



## 4.7. Pompe à chaleur à absorption gaz

La ressource étudiée ici concerne la mise en œuvre de pompes à chaleur à absorption gaz dites de « très basse énergie ».

Le principe de la pompe à chaleur à moteur gaz est le même que celui de la pompe à chaleur électrique traditionnelle, les différences résidant au niveau du moteur. La pompe à chaleur air-eau puise la chaleur dans l'énergie extérieure et la restitue dans l'eau de chauffage.

Cependant, l'inconvénient principal de cette technologie réside dans le fait que le rendement chute lorsque la température de départ du réseau de distribution de chauffage augmente. Ainsi, ce système est optimal lorsqu'il est utilisé conjointement avec des émetteurs basses températures.

Pompe à chaleur à absorption (circuit d'ammoniac)

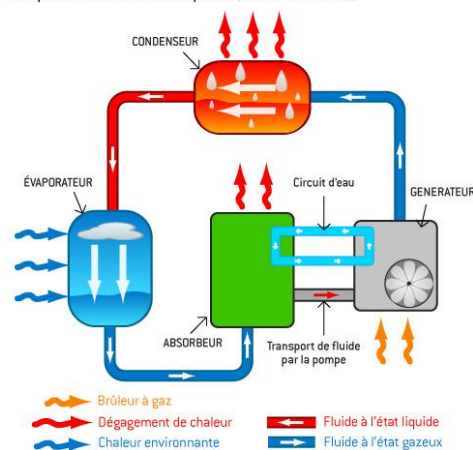


Figure 13 : Schéma de principe de la PAC Gaz (Source : Ooreka)

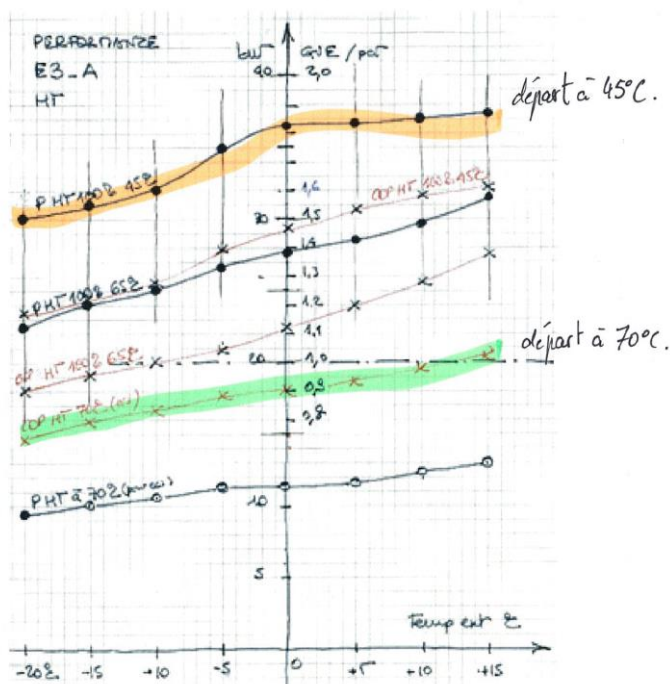


Figure 14 : Diagramme des performances d'une PAC gaz à absorption (Source : XPair)

Cette solution pourrait s'avérer intéressante pour le supermarché, mais elle a un impact environnemental plus important qu'une pompe à chaleur électrique. De plus, d'un point de vue financier cette solution est moins favorable que la précédente.

**Cette solution n'est pas retenue.**

## 4.8. Chaudière gaz

Le principe d'une chaudière gaz est de brûler du gaz de sorte que les fumées créées passent dans un échangeur où circule l'eau qui alimente le circuit de chauffage ou d'eau chaude sanitaire.

Une chaudière gaz peut être implantée quasiment partout dès lors que l'accès au gaz est possible. Un réseau de gaz existant est présent à Sartrouville, rendant un branchement sur ce réseau possible.

La solution « chaudière gaz » est la plus classique et la plus facile à mettre en œuvre, cela sera la solution de référence à comparer aux autres solutions.

## 5. Revue des énergies renouvelables envisageables

Les choix réalisés dans le cadre d'une requalification urbaine représentent un engagement sur plusieurs dizaines d'années. En matière d'énergie, les conséquences directes de ces choix sont :

- ▶ Le coût pour les usagers (niveau et stabilité) ;
- ▶ L'impact sur le climat (émissions de gaz à effet de serre) ;
- ▶ L'impact sur l'environnement (qualité de l'air, impact paysager...).

Le panel de solutions est large et chaque solution dispose de ses atouts et de ses limites. Le tableau suivant décrit en première approche les systèmes d'énergies renouvelables présentant une pertinence technique à l'échelle de l'opération.

**ALTAREA COGEDIM DEVELOPPEMENT URBAIN**  
**EVALUATION DU POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES – PHASE 2**

	Solution étudiée pour l'étude d'opportunité EnR
	Solution à étudier en cas d'études approfondies
	Solution non envisageable

Energie	Technologie	Usage	Echelle de production	Possibilité d'utilisation pour le projet
Géothermie très basse énergie	Capteurs horizontaux	Chauffage, climatisation	Bâtiment	Envisageable mais manque de surface foncière donc solution non adaptée
	Sondes géothermiques verticales	Chauffage, ECS, climatisation	Bâtiment	
Géothermie basse énergie	Pompage d'eau chaude dans le sol pour alimenter directement un circuit de chauffage/eau chaude	Besoins importants de chauffage urbain + ECS	Bâtiment ou réseau de chaleur	Envisageable au vue du fort potentiel géothermique de la Région mais périmètre d'étude réduit donc solution non adaptée <i>Vérification de la faisabilité et démarches à faire</i>
Combustion de biomasse	Chaudière à plaquettes	Chauffage, ECS	Périmètre Ilôt	Solution pertinente
	Chaudière biomasse (granulés)	Chauffage, ECS	Bâtiment	Solution pertinente
Solaire photovoltaïque	Raccordé au réseau ERDF	Production électrique	Bâtiment	Envisageable pour tous les bâtiments avec une toiture terrasse
	Isolé (non raccordé au réseau ERDF)	Production électrique	Bâtiment	Envisageable pour tous les bâtiments avec une toiture terrasse
Solaire thermique	Capteurs solaires thermiques	ECS pour logements individuels et collectifs et activité à fort besoin d'eau chaude	Bâtiment	Envisageable au vu de la présence de logements
Eolien	Petit éolien (< 12m)	Production électrique	Bâtiment	Solution peu pertinente à l'échelle du projet
	Grand éolien (> 12m)	Production électrique	Investisseurs	Impossibilité réglementaire, densité urbaine trop élevée
Raccordement RCU	Energies carbonées	Chauffage, ECS	Périmètre Ilôt Bâtiment	Solution peu pertinente au vue de la distance entre le RCU et le périmètre d'étude
Aérothermie	PAC air/eau électrique	Chauffage, ECS, climatisation	Logement collectif Bâtiment tertiaire	Soution pertinente
	PAC air/eau à absorption gaz	Chauffage, ECS, climatisation	Logement collectif Bâtiment tertiaire	Solution peu pertinente comparé à la mise en œuvre de PAC électriques

## 6. Comparaison des solutions d’approvisionnement énergétique

### 6.1. Généralités

La solution de production par le gaz naturel est très fréquemment sélectionnée en raison d’un coût plus avantageux vis-à-vis des autres énergies et d’un investissement limité. Dans ce contexte, l’étude d’approvisionnement en énergie prendra donc en solution de référence une production tout gaz.

Afin d’analyser le potentiel en énergie renouvelable de l’opération, l’étude d’approvisionnement portera sur une comparaison de scénarios. Les solutions étudiées sont retenues sur la base de leurs pertinences technique, financière et environnementale.

5 scénarios seront à l’étude :

- ▶ **Scénario n°1 : Solution chaufferie gaz collective par immeuble** : une chaufferie centrale par bâtiment, constituée de chaudières gaz à condensation ;
- ▶ **Scénario n°2 : Solution chaufferie collective bois (80%) / gaz (20%) par immeuble** : une chaufferie par bâtiment alimentée par des chaudières bois à granulés et des chaudières gaz - les chaudières bois couvriront 80% des besoins de chauffage et d’ECS tandis que les chaudières gaz assureront l’appoint restant (20%) et le secours en cas de défaillance – permettant un rendement optimal sur les chaudières bois ;
- ▶ **Scénario n°3 : Solution chaufferie bois/gaz par immeuble et solaire thermique** : une chaufferie par bâtiment complétée par un appoint avec des panneaux solaires thermiques en toiture terrasse pour chaque bâtiment de logements ;
- ▶ **Scénario n°4 : Solution chaufferie collective bois (80%) / gaz (20%) pour l’ensemble du périmètre d’étude** : une chaufferie collective pour l’ensemble du périmètre alimentée par des chaudières bois à plaquettes et des chaudières gaz.
- ▶ **Scénario n°5 : Solution pompe à chaleur air/eau électrique et chaufferie collective bois (80%) / gaz (20%)** : pour une partie de la production de chaud et de froid du supermarché - les logements seront alimentés en chauffage et ECS de la même manière que le Scénario n°4.

Présentation des scénarios proposés

### 6.1.1. Chaufferie collective gaz par immeuble – Scénario de base

Le chauffage et l'ECS sont produits dans chaque bâtiment par deux chaudières gaz à condensation en cascade.

Une amenée de gaz doit être prévue jusqu'aux bâtiments.

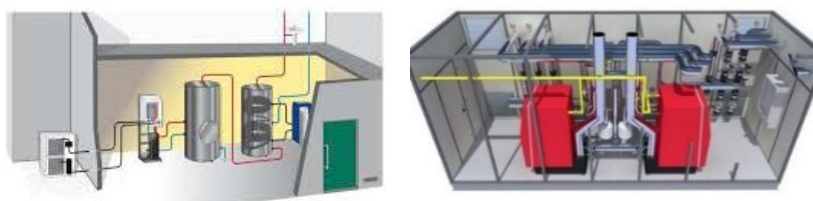


Figure 15 : Chaufferie collective gaz (Source : Ooreka)

### 6.1.2. Chaufferie collective bois/gaz par immeuble

Ce scénario prévoit la création d'une chaufferie par bâtiment alimentée par des chaudières bois à granulés et des chaudières gaz. Les chaudières bois couvriront 80% des besoins de chauffage et d'ECS tandis que les chaudières gaz assureront l'appoint restant (20%) et le secours en cas de défaillance.

Ce montage permet d'assurer un rendement optimal sur les chaudières bois.



Figure 16 : Chaudière bois/gaz (Source : Selectra)

### 6.1.3. Chaufferie collective bois/gaz par immeuble et mix solaire thermique

Ce scénario reprend la même base que le scénario 2. La différence réside dans l'installation des panneaux solaires thermiques sur la toiture des bâtiments d'habitation collectifs qui produisent 60% des besoins d'ECS de ces derniers.

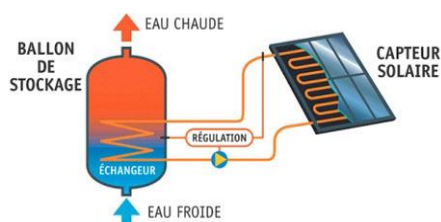


Figure 17 : Schéma de fonctionnement d'un panneau solaire thermique (Source : Ooreka)

#### 6.1.4. Chaufferie collective bois/gaz pour l'ensemble du périmètre d'étude

Ce scénario prévoit la création d'une chaufferie collective pour l'ensemble du périmètre d'étude alimentée par des chaudières bois à plaquettes et des chaudières gaz. Les chaudières bois couvriront 80% des besoins de chauffage et d'ECS tandis que les chaudières gaz assureront l'appoint restant (20%) et le secours en cas de défaillance.

Ce montage permet d'assurer un rendement optimal sur les chaudières bois.

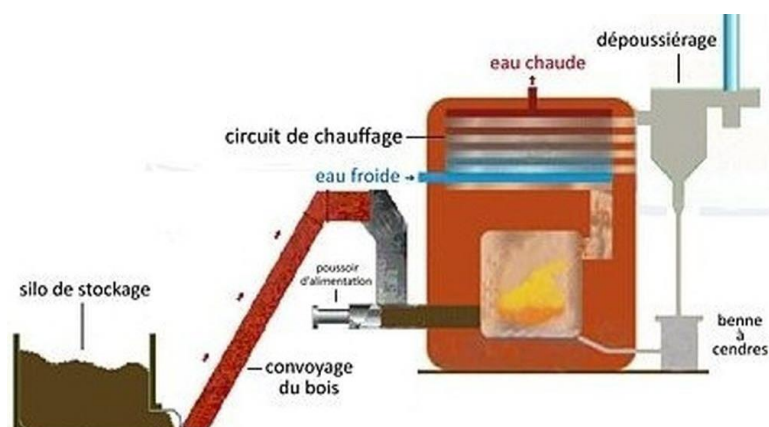


Figure 18 : Schéma de principe d'une chaudière bois (Source : Dalkia)

#### 6.1.5. Pompe à chaleur air/eau électrique pour le supermarché et chaufferie collective gaz/bois pour l'ensemble du périmètre d'étude

Le chauffage et l'ECS sont produits dans une chaufferie collective – à exception du supermarché – par une chaudière bois (80%) et une chaudière gaz (20%).

Une pompe à chaleur air/électrique assurera la production de chaud et de froid du supermarché.

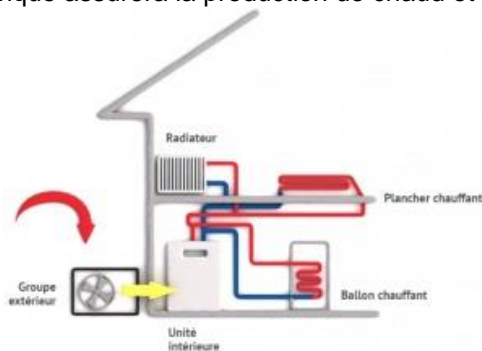


Figure 19 : Schéma de fonctionnement d'une pompe à chaleur (Source : Daikin)

## 7. Comparatif des scénarios pour la desserte en chauffage et eau chaude sanitaire

### 7.1. Introduction

L'étude d'opportunité permet la comparaison de différentes solutions sur la base de plusieurs critères :

- ▶ Coût global ;
- ▶ Émissions CO<sub>2</sub> ;
- ▶ Adaptabilité aux évolutions du contexte énergétique ;
- ▶ Facilité de mise en œuvre opérationnelle.

Le coût de l'énergie ne se résume pas au coût du kWh et il est nécessaire de réaliser les comparatifs en coût global. Aussi seront étudiés :

- ▶ Le coût du kWh (P1 dans le jargon des contrats d'exploitation de chauffage) ;
- ▶ Le coût de la conduite maintenance (P2) ;
- ▶ Le coût d'investissement et de gros entretien (P3 P4).

Dans un second temps seront également chiffrées les émissions de CO<sub>2</sub> des différents scénarios. Pour les autres critères, c'est une approche qualitative qui sera menée.



## 7.2. Hypothèses de calcul du coût kWh

### 7.2.1. Coûts d'énergie (P1) et facteurs d'émission CO<sub>2</sub>

<b>Gaz - tarifs</b>		
	Immeuble	Ilot
année 2021 - contrat	<b>2021</b>	<b>2021</b>
Prix abonnement € TTC	249,75	249,75
Prix kWh €HT	0,0538	
Prix kWh €TTC 20%	0,0646	
<b>Prix MWh €TTC 20%</b>	<b>64,60</b>	
<b>Emission CO2</b>	0,205	kgCO2/kWh

<b>Electricité - tarif bleu</b>		
	Base	9 kVA
année	<b>2018</b>	
Prix abonnement € TTC 5,5%	120,14	
Prix kWh €TTC 20%	0,1483	
<b>Prix MWh €TTC 20%</b>	<b>148,30</b>	
<b>Emission CO2</b>	0,18	kgCO2/kWh

<b>Electricité - tarif jaune</b>		
année	<b>2018</b>	
Prix abonnement €/Kva TTC 5,5%	39,41	
Prix kWh €TTC 20%	0,0925	
<b>Prix MWh €TTC 20%</b>	<b>92,50</b>	
<b>Emission CO2</b>	0,18	kgCO2/kWh

<b>Bois Granulés</b>		
année	<b>2019</b>	
Prix abonnement € TTC 10%	-	
Prix kWh €HT	0,0500	
Prix kWh €TTC 10%	0,0550	
<b>Prix MWh €TTC 10%</b>	<b>55,00</b>	
<b>Emission CO2</b>	0,0304	kgCO2/kWh

### 7.2.2. Evolution des prix (P1)

L'augmentation du prix des énergies a un impact décisif sur le coût d'exploitation du bâtiment sur une longue période. Or, ces augmentations prévisionnelles sont par nature inconnues.

Les hypothèses retenues pour cette étude sont basées sur les augmentations passées constatées depuis 10 ans.

	Bois	Gaz	électricité	inflation	Electricité
Taux d'augmentation annuel du combustible	2,0%	4,0%	4,0%	1,0%	2%
Taux d'augmentation annuel de l'abonnement		4,0%	4,0%		2%

### 7.2.3. Hypothèses pour les coûts de conduite et maintenance (P2)

Le P2 annuel est calculé à partir de ratios.

Après la montée en charge, l'évolution du coût de conduite et maintenance est liée à l'inflation uniquement (les pannes importantes qui peuvent survenir par la suite sont prises en compte dans le paragraphe suivant, dans le P3, gros entretien).

### 7.2.4. Hypothèses pour les coûts d'investissement, gros entretien, renouvellement (P3 – P4)

Les coûts considérés comprennent :

- ▶ Le remboursement des emprunts d'investissement, frais financiers inclus : P4 ;
- ▶ Les provisions pour gros entretien permettant le maintien de l'installation : P3.

Les différentes composantes de l'investissement ont été réparties selon leur durée de vie pour adapter les taux d'emprunt. Quand la durée de vie des différents éléments est écoulee, nous considérons que l'emprunt est renouvelé de façon à financer son renouvellement. Cette méthode permet de fournir une bonne estimation de la valeur du renouvellement et du gros entretien.

Les taux d'emprunt considérés sont les suivants :

Taux d'intérêts des emprunts	
10 ans	4,00%
15 ans	3,75%
20 ans	3,50%
30 ans	3,25%

### 7.2.5. Coût global (P1 – P2 – P3 – P4)

En sommant ces différents coûts d'investissement et de fonctionnement, on obtient le coût global de l'énergie pour les différents modes de desserte.

### 7.2.6. Rappel de la limite principale de la modélisation du coût global

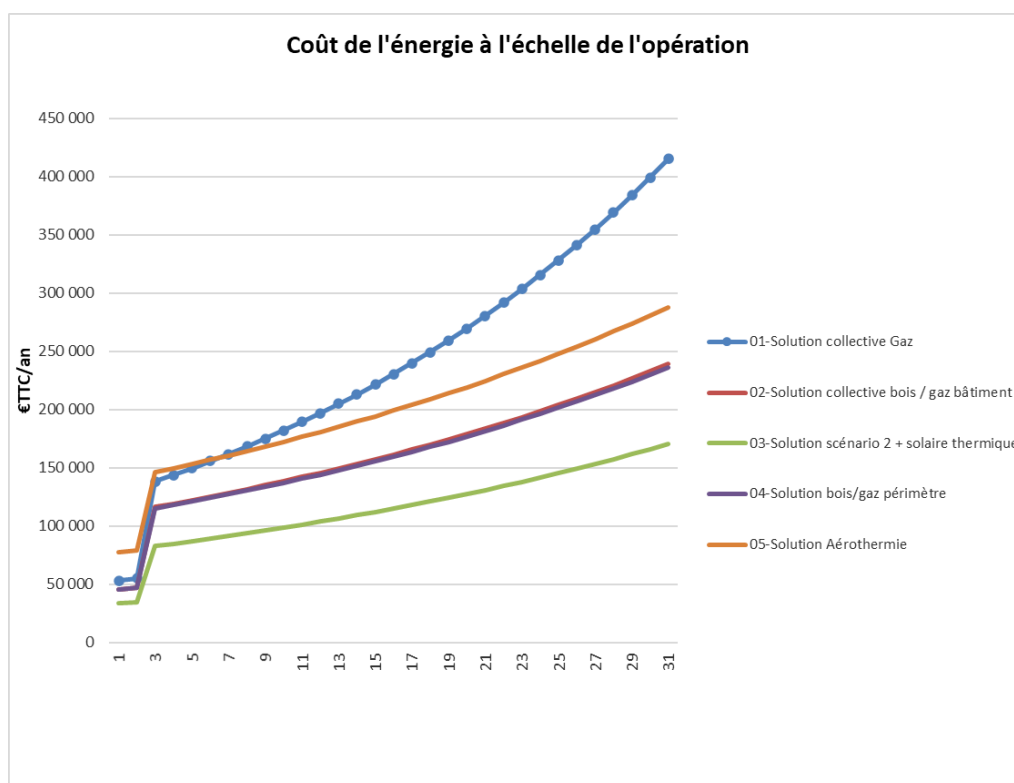
Les hypothèses sur l'évolution des coûts de l'énergie sont fortement déterminantes pour les allures globales des courbes.

De plus, cette approche en coût global n'intègre que les coûts des systèmes. Ainsi, les coûts annexes portant sur les bâtiments (amélioration de la performance du bâti ou des systèmes hors chauffage et ECS, génie civil sur les chaufferies...) ne sont pas considérés.

## 7.3. Résultats du comparatif des solutions étudiées

Les graphiques suivants présentent les résultats des simulations calculatoires portant sur l'opération d'aménagement.

### 7.3.1. Analyse du coût de fourniture d'énergie (P1)



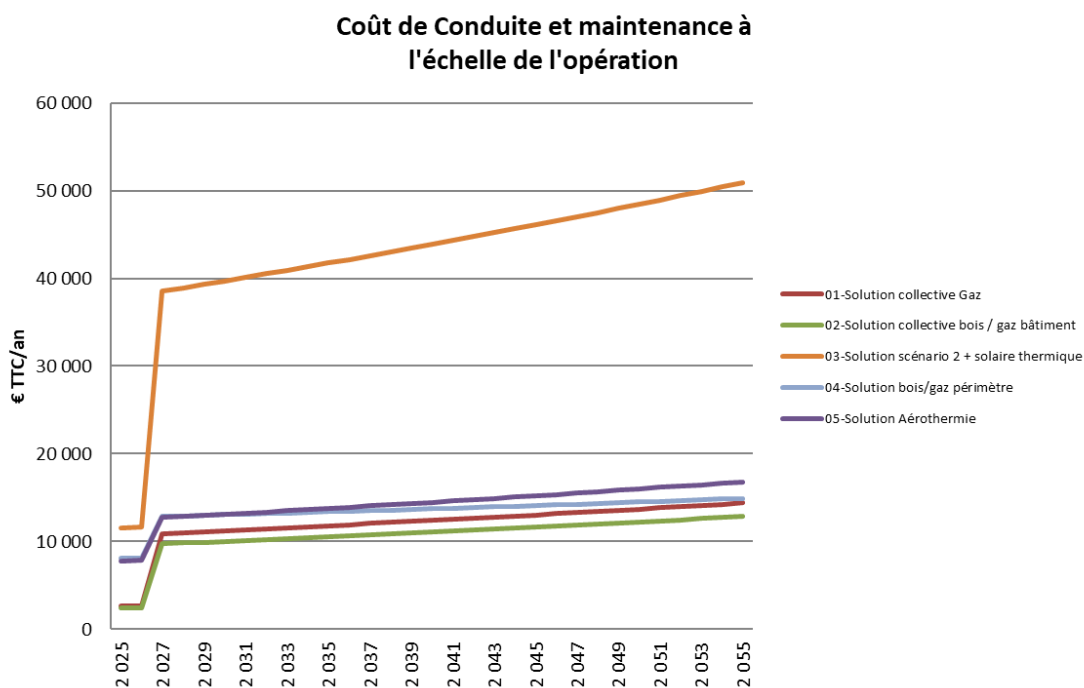
Le coût de fourniture d'énergie P1 représente le montant facturé chaque mois par les fournisseurs d'énergie. Il est directement porté par les utilisateurs. Sur le long terme ; ce coût est influencé par la hausse du coût des énergies.

Les solutions collectives permettent de mieux maîtriser le coût de l'énergie et son inflation. Cependant, l'inflation du prix du gaz étant plus importante que celle du prix de l'électricité et du bois, la solution collective gaz est moins favorable sur le long terme.

Enfin, la solution collective bois/gaz + solaire thermique permet, en raison du coût nul de l'énergie solaire, de disposer du coût de fourniture de l'énergie le plus faible.

**Le scénario le plus avantageux sur le critère coût de l'énergie – P1 est celui de la solution 03 – Collective bois / gaz par bâtiment + solaire thermique.**

### 7.3.2. Analyse du coût de conduite et de maintenance P2



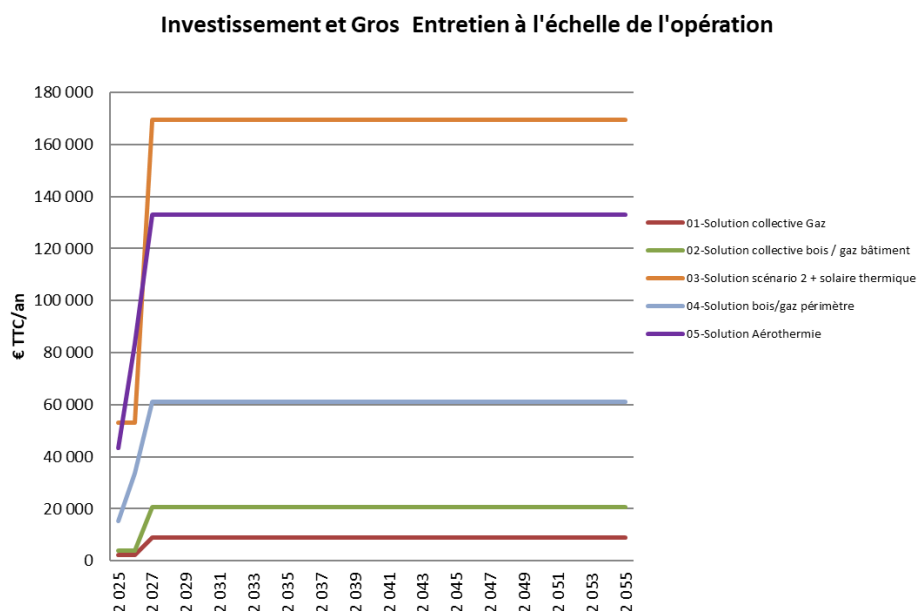
Les scénarios les moins avantageux en termes d'entretien et de maintenance sont les scénarios incluant le plus d'éléments onéreux à entretenir.

Les solutions les plus intéressantes sont les solutions qui mutualisent les systèmes à l'échelle de plusieurs bâtiments et qui ont recours à des installations simples ne nécessitant pas beaucoup d'éléments à entretenir.

Nos cinq scénarios étudiés sont des solutions collectives ou en partie collectives (les installations solaires thermiques seront individuelles). Le scénario 2 est le moins cher en raison du faible coût de maintenance des sous-stations et des équipements.

**Le scénario le plus avantageux sur le critère P2 : est celui de la solution 02 – Collective bois / gaz par bâtiment.**

### 7.3.3. Analyse du coût investissement et gros entretien P3 – P4



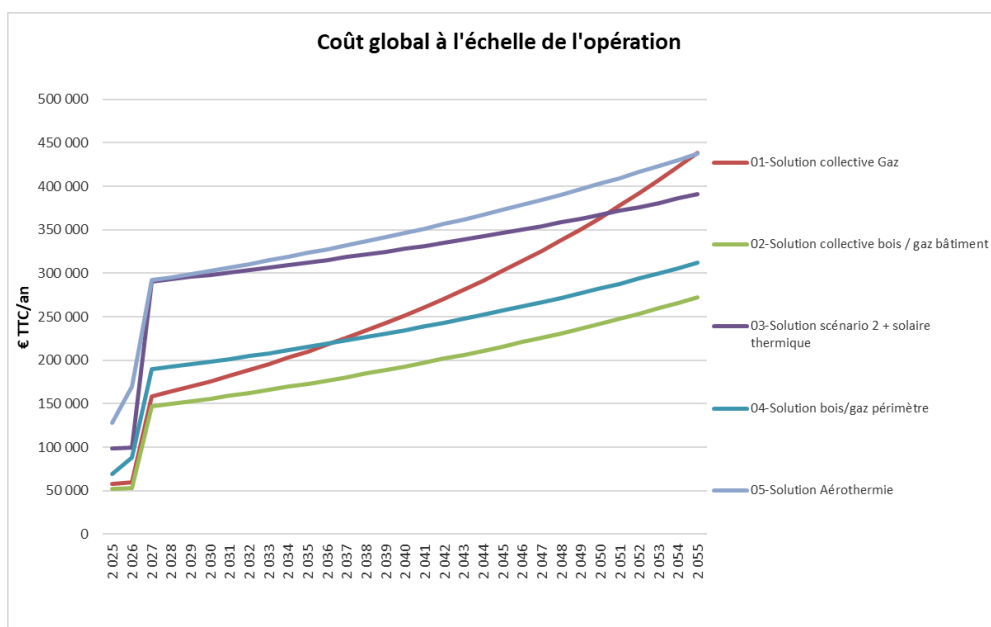
Pour les solutions collectives, une attention particulière doit être prise sur l'analyse des différents coûts. En effet, seuls les coûts systèmes étant considérés, les coûts annexes ne sont pas intégrés dans l'analyse. Le coût du foncier et du génie civil pour la construction d'un local chaufferie n'est pas non plus considéré.

L'installation d'une chaufferie bois par bâtiment est onéreuse, tout comme l'installation de panneaux solaires thermiques. Ces solutions ont cependant d'autres avantages, comme l'aspect environnemental, qui peuvent compenser ce coût supplémentaire.

Le très bon positionnement de la solution collective gaz est classique et explique que cette solution soit souvent retenue : les coûts d'investissement sont faibles.

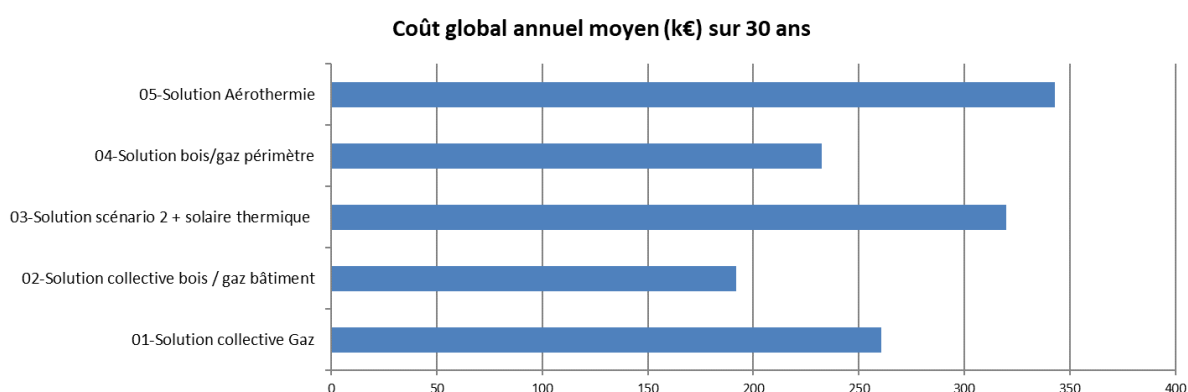
**Le scénario le plus avantageux sur le critère P3-P4 est la Solution 01 - Collective gaz immeuble.**

### 7.3.4. Analyse du coût global et du surcoût global cumulé



L'analyse du coût global permet de comparer les solutions sur la base de leur coût annuel respectif. La représentation graphique fait clairement ressortir la sensibilité à l'inflation de la solution collective gaz.

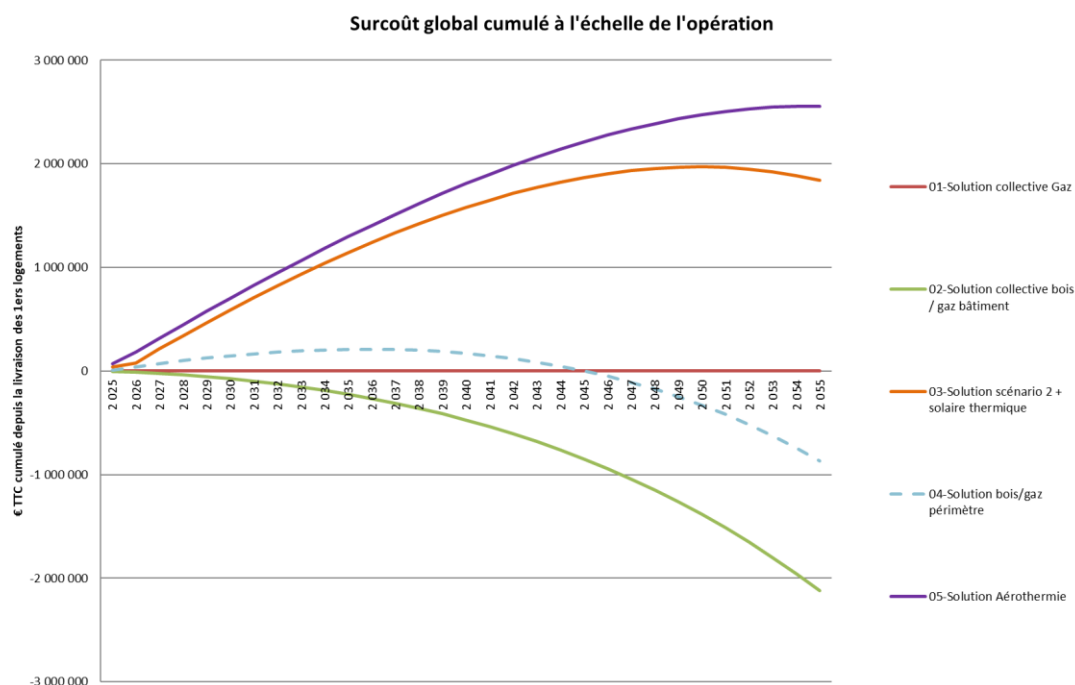
Les solutions « collective bois/gaz par bâtiment » et « bois/gaz périmètre » disposent de pentes relativement faibles, ceci s'expliquant par une forte stabilité des prix d'exploitation dans le temps. Le « surinvestissement » réalisé sur la solution « bois/gaz périmètre » est donc assez rapidement amorti : le gain sur les P1 couvre les surinvestissements P4.



La solution « collective bois/gaz périmètre » présente le plus faible coût global annuel moyen sur 30 ans.

Malgré son investissement initial faible, la solution collective gaz est plus onéreuse sur le long terme.

Afin d'avoir un meilleur aperçu des différents scénarios, nous menons une approche en surcoût global cumulé, ceci en considérant le scénario 01 - Collective gaz immeuble comme référence. Cette approche permet de visualiser le temps de retour des solutions vis-à-vis de la référence.

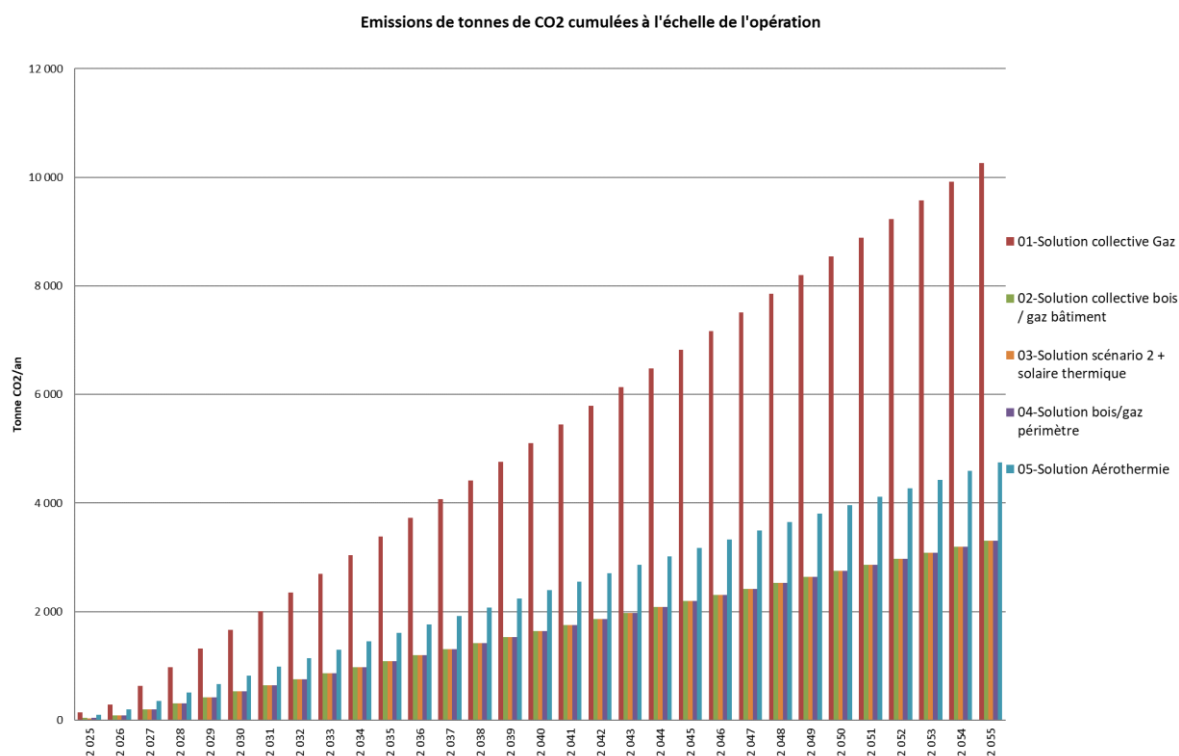


La solution collective bois/gaz par bâtiment apparaît comme étant la solution la plus rentable, du fait de son faible coût d'exploitation.

L'évolution des réglementations liées à la transition énergétique est difficilement prévisible, car dépendante des décisions politiques. En revanche, il est raisonnable de penser que les énergies carbonées seront pénalisées dans le futur pour laisser place aux énergies renouvelables. L'évolution du prix des énergies carbonées comme le gaz pourrait donc certainement être plus importante que dans l'étude présentée ici.

**Le scénario le plus avantageux sur le critère coût global est la solution 02 – Collective bois/gaz par bâtiment.**

### 7.3.5. Résultat du comparatif émissions de CO<sub>2</sub>



La solution employant uniquement l'énergie gaz est sans surprise la plus polluante.

La solution aérothermie est moins polluante que la solution uniquement bois/gaz mais reste une des solutions les plus polluantes.

Le bilan carbone est également bon pour la solution intégrant l'énergie biomasse : le bois émet moins de 9% des émissions du gaz naturel.

Les solutions les plus favorables sont les solutions 2, 3 et 4, avec un avantage pour la solution 3 du fait du recours à l'énergie solaire (différence faible et de ce fait, peu visible sur le graphique).

**Le scénario le plus avantageux sur le critère environnemental est la Solution 03 – Collective bois/gaz + solaire thermique.**



### 7.3.6. Synthèse du comparatif

Le tableau suivant présente une synthèse multicritère de l'analyse des scénarios de desserte étudiés :

	01-Solution collective Gaz	02-Solution collective bois / gaz bâtiment	03-Solution scénario 2 + solaire thermique	04-Solution bois/gaz périmètre	05-Solution Aérothermie
coût global moyen sur 30 ans	260 k€ TTC/an	192 k€ TTC/an	320 k€ TTC/an	232 k€ TTC/an	343 k€ TTC/an
Stabilité du coût pour les usagers	Faible	Forte	Forte	Forte	Moyenne
Emissions de CO2 moyennes sur 30 ans	5 108 t CO2/an	1 645 t CO2/an	1 644 t CO2/an	1 645 t CO2/an	2 394 t CO2/an
Adaptabilité de l'ensemble de l'ilôt ZAC à un changement d'énergie	Faible	Faible	Moyen	Forte	Forte
Recours en ENR &R	Aucun	Fort	Fort	Fort	Fort
Analyse multi-critères	Solution à faible pertinence	Solution à pertinence modérée	Solution à pertinence modérée	Solution pertinente	Solution à pertinence modérée

## 8. Energies renouvelables pour la desserte en électricité

### 8.1. Consommation d'électricité

Dans les constructions neuves, les consommations électriques spécifiques constituent une part importante de la consommation totale.

Afin d'analyser en première approche cette consommation, nous avons estimé les consommations électriques suivantes :

- ▶ Les consommations électriques réglementaires (éclairage + auxiliaires) : calculées sur la base d'un pourcentage du  $CEP_{max}$ -20% pour un bâtiment RT2012 ;
- ▶ Les consommations électriques spécifiques.

La consommation de l'éclairage et des auxiliaires est estimée à 1 469 MWh/an. Il est donc important d'étudier les possibilités d'alimenter ces besoins par des énergies renouvelables.

## 8.2. Energie photovoltaïque

### 8.2.1. Généralités

Le photovoltaïque constitue une excellente utilisation des toitures de bâtiments, même si pour les bâtiments nécessitant une production d'eau chaude, le solaire thermique sera à implanter en priorité. Des montages peuvent être imaginés pour réduire les coûts d'installation.

La construction de bâtiments neufs équipés de grandes toitures, constitue une occasion rare d'intégrer du photovoltaïque au bâti à grande échelle. Les locations de toitures pour l'implantation de panneaux raccordés au réseau sont aujourd'hui chose courante. Des privés, des particuliers ou des collectivités peuvent investir dans des m<sup>2</sup> d'installation photovoltaïque, et recevoir la part correspondante des bénéfices de la vente des kilowattheures produits, tandis que le propriétaire du bâtiment reçoit un loyer pour la mise à disposition de sa toiture. Ces montages peuvent permettre d'utiliser au maximum les surfaces de toitures adaptées à cette production d'électricité verte sans alourdir les investissements des promoteurs.

La solution la plus simple est de confier ce montage à une entreprise spécialisée qui prendra en charge toute l'installation, son exploitation, sa gestion, sa maintenance, et fournira les contrats entre le propriétaire du bâtiment et le locataire de la toiture.

### 8.2.2. Production photovoltaïque

L'objet de ce paragraphe est d'analyser en première approche la surface de capteurs solaires maximale envisageable, et le montage le plus pertinent.

Les hypothèses de calcul sont réalisées sur la base de panneaux solaires de 330 Wc, mesurant environ 1.7m<sup>2</sup>.

La surface totale de toiture des bâtiments neufs et existants est d'environ 7 088 m<sup>2</sup>. Si l'on considère une installation de panneaux photovoltaïques sur 60% de cette surface, nous avons un total d'environ 4 253 m<sup>2</sup> sur l'ensemble du périmètre d'aménagement.

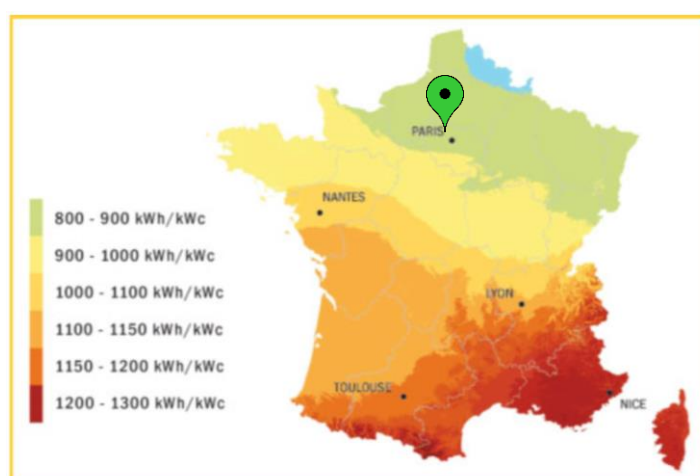


Figure 20 : Potentiel géographique de production solaire (Source : SDEC)

Le potentiel géographique de production est d'environ 800 kWh/kWc.

Puissance installée	Surface équivalente	Production	Investissement	Taux de couverture
[kWc]	[m²]	[MWh/an]	[k€ HT]	[%]
184	946	147	367	10%
367	1 892	294	735	20%
551	2 838	441	1 102	30%
735	3 784	588	1 469	40%
918	4 730	735	1 836	50%
1 102	5 676	881	2 204	60%
1 285	6 622	1 028	2 571	70%
1 469	7 568	1 175	2 938	80%
1 653	8 514	1 322	3 305	90%
1 836	9 459	1 469	3 673	100%

L'ensemble des panneaux peut donc produire jusqu'à **660 MWh/an**, couvrant environ **45%** des besoins en électricité (éclairage, auxiliaires et électricité spécifique) du périmètre du projet.

## 9. Conclusion

Cette évaluation du potentiel en énergies renouvelables sur l'opération d'aménagement de **Sartrouville** constitue une première approche de faisabilité technique et de comparatif technico-économique et environnemental destinée à explorer les solutions énergétiques envisageables et proposer une stratégie.

Dans une démarche énergétique pertinente, il est important de réaliser en amont de la desserte énergétique un travail sur l'enveloppe des bâtiments chauffés : optimisation de l'isolation, implantation bioclimatique. En effet, l'énergie la moins chère et la moins polluante est celle que l'on ne consomme pas. Ainsi, avant de mener une réflexion pour consommer mieux, une réflexion sur chaque bâtiment devra être menée pour consommer moins.

**Au niveau de l'opération d'aménagement, la solution collective bois/gaz pour l'ensemble du périmètre est assez pertinente. En effet, cette solution présente un bon compromis entre un impact environnemental plus faible et un coût global modéré.**

Pour rappel : cinq scénarios ont été analysés :

- ▶ **Scénario n°1 : Solution chaufferie gaz collective par immeuble** : une chaufferie centrale par bâtiment, constituée de chaudières gaz à condensation ;
- ▶ **Scénario n°2 : Solution chaufferie collective bois (80%) / gaz (20%) par immeuble** : une chaufferie par bâtiment alimentée par des chaudières bois à granulés et des chaudières gaz - les chaudières bois couvriront 80% des besoins de chauffage et d'ECS tandis que les chaudières gaz assureront l'appoint restant (20%) et le secours en cas de défaillance – permettant un rendement optimal sur les chaudières bois ;
- ▶ **Scénario n°3 : Solution chaufferie bois/gaz par immeuble et solaire thermique** : une chaufferie par bâtiment complétée par un appoint avec des panneaux solaires thermiques en toiture terrasse pour chaque bâtiment de logements ;
- ▶ **Scénario n°4 : Solution chaufferie collective bois (80%) / gaz (20%) pour l'ensemble du périmètre d'étude** : une chaufferie collective pour l'ensemble du périmètre alimentée par des chaudières bois à plaquettes et des chaudières gaz ;
- ▶ **Scénario n°5 : Solution pompe à chaleur air/eau électrique et chaufferie collective bois (80%) / gaz (20%)** : pour une partie de la production de chaud et de froid du supermarché - les logements seront alimentés en chauffage et ECS de la même manière que le Scénario n°4.

L'analyse de la pertinence des solutions doit être menée dans une approche multicritère. Baser le choix d'une desserte uniquement sur l'aspect économique serait non pertinent. En effet, les coûts intégrés dans l'étude se limitent aux systèmes : les coûts annexes relatifs au génie civil des chaufferies, au foncier ou à l'impact environnemental ne sont pas considérés.

Dans une approche multicritère, **la solution collective bois/gaz pour l'ensemble du périmètre est la plus pertinente** en présentant un bon compromis avec un impact environnemental modéré et bien moins élevé que la solution gaz collective tout en présentant un coût global plus faible que l'ensemble des autres solutions.

**Concernant le photovoltaïque, c'est une possibilité complémentaire à tous les scénarios qui doit être prise en considération.**

Dans tous les cas, le choix de la solution est laissé au constructeur, l'analyse présentée dans ce document étant un outil d'aide à la décision.

Dans une approche plus globale, il pourrait être intéressant de mener une approche d'écologie industrielle afin d'identifier les besoins de chaque bâtiment et les synergies possibles (réseaux intelligents entre bâtiments dans le déphasage entre production/stockage/consommation d'énergie, réutilisation des déchets des uns en tant qu'intrants...).



**sce**

Aménagement  
& environnement

[www.sce.fr](http://www.sce.fr)

GRUPE KERAN