



Elaboration d'un scénario énergétique pour la production et la distribution d'énergie sur l'Ecopôle de Sénart



Synthèse

Juillet 2008



CABINET PETIT



EXPLICIT
13, rue du Faubourg, Poissonnière
F-75 009 PARIS
Tél./fax +33-(0)1 47 70 47 21

Cabinet Philippe Petit
31, rue Royale
69001 Lyon
Tél. : 04.72.98.08.80

AXENNE
12, rue Paul Cézanne
F-69 330 MEYZIEU
Tél./fax +33-(0)4 37 44 15 83

Sommaire

1	Introduction	4
2	Déroulement général de l'étude réalisée par EXPLICIT, AXENNE et le Cabinet Philippe Petit	5
3	Phase 1 : Analyse de l'offre et de la demande	7
3.1	<i>Quels sont les besoins énergétiques de l'Ecopôle ?</i>	7
3.1.1	Hypothèses retenues pour l'estimation des besoins de l'Ecopôle.....	7
3.1.2	Estimation des besoins énergétiques de l'Ecopôle.....	8
3.2	<i>Quelles ressources énergétiques locales adaptées aux besoins de l'Ecopôle ?</i>	9
3.3	<i>Scénarios de demande et d'offre énergétique retenus</i>	10
3.3.1	Scénario de demande énergétique.....	10
3.3.2	Scénarios d'offre.....	11
4	Phase 2 : Scénarisation	12
4.1	<i>Hypothèses retenues pour la scénarisation</i>	12
4.1.1	Hypothèses de programmation.....	12
4.1.2	Hypothèses économiques.....	13
4.2	<i>Comparaisons des scénarios</i>	14
4.2.1	Comparaison économique.....	14
4.2.2	Comparaison environnementale.....	15
4.2.3	Autres éléments de comparaison.....	15
4.3	<i>Choix d'un scénario à approfondir</i>	16
5	Phase 3 : Approfondissement du scénario « Réseau de chaleur Bois »	17
5.1	<i>Analyse économique du point de vue d'un délégataire</i>	17
5.1.1	Scénario de base.....	17
5.1.2	Scénario optimum : conditions en terme de financement et de commercialisation pour la faisabilité économique d'un réseau de chaleur bois.....	19
5.2	<i>Analyse juridique</i>	21
5.2.1	Autorité compétente pour la création d'un réseau de chaleur.....	21
5.2.2	Montages juridiques envisageables pour la création et l'exploitation de la chaufferie et du réseau de chaleur ?	22
5.2.3	Comment s'assurer que les bâtiments qui seront érigés sur la zone seront effectivement raccordés au réseau de chaleur ?	23
6	Phase 4 : Vers un écopôle à Carbone Zéro ?	24
6.1	<i>Surfaces de panneaux photovoltaïques nécessaires à la compensation des émissions</i>	24
6.2	<i>Chiffrage économique</i>	25
7	Conclusions	27

1 Introduction

Depuis mars 2005, l'Etablissement Public d'Aménagement EPA Sénart et le Syndicat d'Agglomération Nouvelle (SAN) « Sénart Ville Nouvelle » se sont engagés dans la conception du projet Ecopôle sur le territoire. Le projet de l'Ecopôle, constitué des ZAC du Charme et de Portes de Combs, consiste à réaliser un parc d'activités de nouvelle génération prioritairement dédié aux éco - activités. Ce positionnement économique s'accompagne d'un positionnement urbain et architectural fort, fondé également sur une logique de développement durable. Cette démarche se décline autour d'une insertion harmonieuse dans le site, la qualité du bâti, mais aussi la gestion raisonnée des ressources et rejets, notamment des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.

Dans un contexte de lutte contre le changement climatique et d'évolution forte des prix de l'énergie, la nécessité de s'interroger sur la production et l'alimentation en énergie du futur parc d'activités, et notamment la possibilité de limiter les consommations d'énergie des bâtiments et d'utiliser des énergies renouvelables, s'est rapidement imposée aux porteurs du projet. De nombreuses solutions performantes pour assurer les besoins en énergie des zones urbaines existent mais se heurtent à des barrières qui ne leur permettent pas de s'imposer spontanément sur le marché actuel de l'énergie. L'utilisation optimale des ressources locales (bois, géothermie sur nappe) passe par des solutions collectives (réseau de chaleur), plus difficiles à mettre en œuvre que les solutions individuelles (chaufferies gaz, électricité). Les filières d'offre ne sont parfois pas créées ou structurées et un équilibre économique est parfois difficile à trouver.

Un fort volontarisme politique est donc nécessaire pour développer ces solutions. La réflexion sur les choix énergétiques doit se faire à des moments clés, lorsque les acteurs sont mobilisés, et notamment lors de la création de ZAC, de programmes de rénovation ou de développement. A ce titre, la démarche engagée par Sénart correspond parfaitement à la nécessité de mettre à profit de telles opportunités. Il s'agit d'une occasion unique de chercher les solutions permettant de réduire massivement les émissions de Gaz à Effet de Serre sur les projets d'aménagement sénartais, et en particulier l'Ecopôle.

Ce document présente la synthèse du rapport final de l'étude stratégique sur le choix d'un scénario pour la production et la distribution d'énergie sur l'Ecopôle de Sénart, réalisée le groupement EXPLICIT, AXENNE et le Cabinet Philippe Petit.

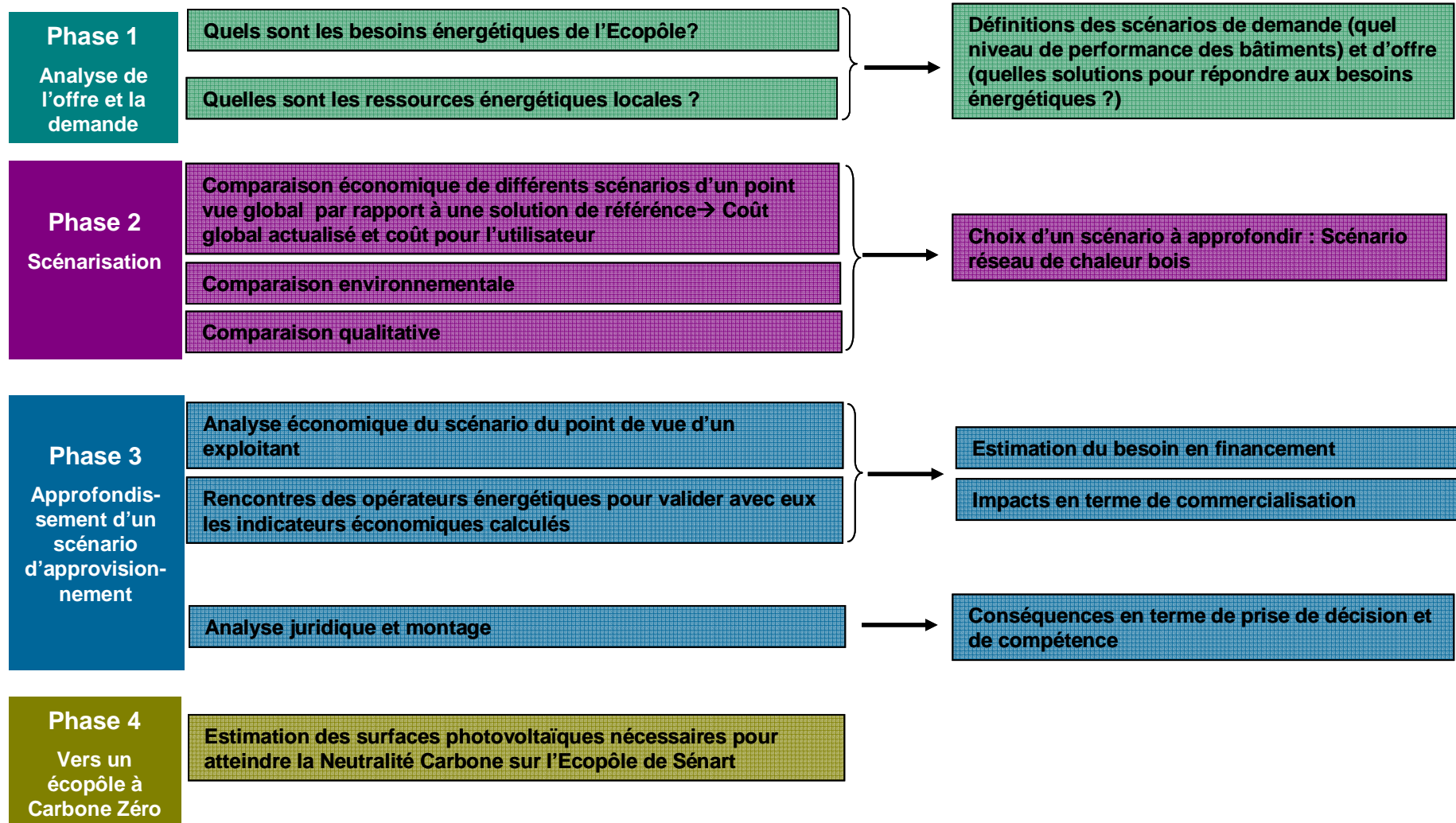
2 Déroulement général de l'étude réalisée par EXPLICIT, AXENNE et le Cabinet Philippe Petit

L'objectif de l'organisation générale de la mission menée par EXPLICIT, AXENNE et le Cabinet Philippe Petit est d'apporter des réponses précises et argumentées permettant à l'EPA et à ses partenaires de se positionner sur l'approvisionnement énergétique de l'Ecopôle sur la base de considérations économiques, techniques, juridiques et environnementales.

L'étude a été menée en 4 phases :

- **Phase 1 : l'analyse de l'offre et de la demande.** Cette première phase a pour objectif d'une part de caractériser les besoins énergétiques de l'écopôle selon le niveau de performance des bâtiments et d'autre part d'identifier les ressources énergétiques locales susceptibles de satisfaire les besoins énergétiques. Cette première phase a permis de définir les scénarios de demande énergétique (quels niveaux de performance pour les futurs bâtiments ?) et d'offre (quelles solutions pour répondre aux besoins?) qu'il serait possible de mettre en place sur l'Ecopôle de Sénart.
- **Phase 2 : Scénarisation.** La phase de scénarisation a pour objectif de comparer les différents scénarios retenus en terme économique, technique et environnemental. La comparaison des scénarios a permis de mettre en avant l'intérêt d'un réseau de chaleur bois pour l'approvisionnement énergétique de l'Ecopôle.
- **Phase 3 : Approfondissement du scénario « Réseau de chaleur bois ».** L'analyse économique du scénario « Réseau de chaleur bois » a été approfondie dans cette partie, en étudiant notamment la faisabilité économique du réseau de chaleur biomasse du point de vue d'un éventuel exploitant. Cette analyse a été appuyée par les informations transmises par des exploitants de réseaux de chaleur. Les résultats, peu concluants (indicateurs économiques faibles), ont amené à s'interroger sur les besoins en financement nécessaire et les impacts en terme de commercialisation pour qu'un réseau de chaleur biomasse soit viable économiquement. Les montages juridiques et financiers envisageables ont aussi été étudiés.
- **Phase 4 : Compensation des émissions de CO2.** Cette dernière phase propose d'étudier les conditions nécessaires pour tendre vers un Ecopôle à « Carbone Zéro », c'est-à-dire une zone d'activité neutre d'un point de vue environnemental. Cette approche n'a pris en compte que les émissions de CO2 liées à l'exploitation des bâtiments.

Déroulement général de l'étude sur l'élaboration d'un scénario énergétique pour la production et la distribution de l'énergie sur l'Écopôle



3 Phase 1 : Analyse de l'offre et de la demande

3.1 Quels sont les besoins énergétiques de l'Ecopôle ?

3.1.1 Hypothèses retenues pour l'estimation des besoins de l'Ecopôle

Les besoins énergétiques de l'Ecopôle ont été estimés **sur la base des données de programmations transmises par l'EPA Sénart et de ratios** de puissance par m² et de consommation d'énergie par m² par an, pour différents usages et pour différents types de bâtiments.

- **Eléments de programmation**

Les **hypothèses de programmation transmises par l'EPA** donnent les surfaces programmées pour différents types d'activité : activité de service, parc à ressources, show room etc. La caractérisation énergétique de ces types d'activité étant difficile, les surfaces transmises par l'EPA ont été ventilées selon 4 secteurs : bureaux, industrie, commerce et stockage, correspondant à la fonction stockage des éco-activités. Les surfaces retenues par secteur sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 1. Surface par zone et par type d'activité (en m² SHON)

	Bureaux	Industrie	Commerce	Stockage
Porte de Combs Ouest	12 314	20 348	0	0
Porte de Combs Centre	0	0	34 448	0
Porte de Combs Est	21 591	37 725	0	35 000
Charme Nord	2 387	45 344	0	0
Charme Sud	66 687	91 350	0	23 653
TOTAL	102 978	194 768	34 448	58 653

Il existe une **incertitude forte sur les besoins énergétiques des surfaces industrielles** (ateliers, stockage) car ceux –ci sont fortement dépendants du type de process. Par exemple, les besoins en chauffage ou en climatisation peuvent être affectés par un process fournissant beaucoup de chaleur. Pour l'ensemble de l'étude, le raisonnement n'a porté que sur les besoins des surfaces tertiaires (bureaux et commerces), de manière à s'affranchir de l'incertitude forte sur l'estimation des besoins des surfaces industrielles.

- **Niveaux de performance**

Concernant les **niveaux de performance des bâtiments retenus**, la charte environnementale de l'Ecopôle prescrit deux types de niveaux de performance :

- un **niveau de base**, qui correspond au minimum de performance que doivent atteindre les futures constructions. Ce niveau de base correspond au label Haute Performance Energétique (HPE), qui répond à une consommation d'énergie inférieure de 10% par rapport à la réglementation thermique.
- Un **niveau performant**. La charte environnementale de l'Ecopôle fixe un certain nombre de cibles pour lequel le niveau performant doit être atteint. Pour la cible énergie, le niveau performant

correspond au niveau de performance Très Haute Performance Energétique (THPE), soit une consommation d'énergie inférieure de 20% par rapport à la réglementation thermique.

Ces deux niveaux de performance sont retenus pour l'estimation des besoins énergétiques de l'Ecopôle.

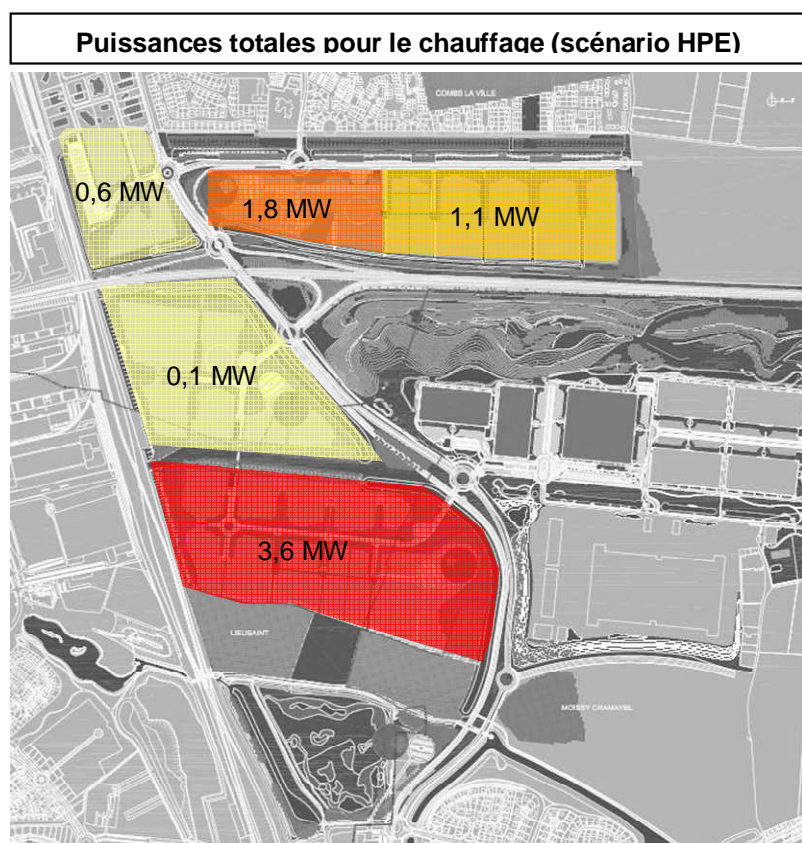
- **Usages considérés**

Les besoins énergétiques sont calculés pour les usages de chauffage, de climatisation et d'électricité spécifique (éclairage, ventilation).

Etant donné le type d'activité présent sur l'Ecopôle, essentiellement tournés vers des activités tertiaires et industrielles, les besoins en eau chaude sanitaire ne sont pas estimés, car ils dépendent des besoins de chaque type d'activité.

Atteindre le niveau de performance HPE et THPE nécessite de réaliser un travail sur le bioclimatisme des bâtiments, et notamment le confort d'été. Il est pris comme hypothèse que la **climatisation n'est pas généralisée** dans l'ensemble des bâtiments mais qu'elle est utilisée pour des usages spécifiques (salles de réunion, locaux informatiques).

3.1.2 Estimation des besoins énergétiques de l'Ecopôle



Les besoins énergétiques pour le **chauffage** sont estimés à **7,4 MW et 8,7 GWh / an** pour l'ensemble de l'Ecopôle pour un niveau de demande énergétique HPE. Pour le scénario de demande énergétique THPE, ces besoins sont de 6,6 MW et 7,7 GWh / an.

Avec les hypothèses de programmation prises, **les zones du Charme Sud et de Portes de Combs Centre concentrent la majorité des besoins énergétiques** et sont, par conséquent, plus intéressantes pour le développement d'un éventuel réseau de chaleur, car la densité de chaleur est forte.

Les besoins en climatisation sont faibles et estimés à 2,7 MW thermique et 0,7 GWh / an pour le scénario HPE. Ces besoins sont faibles du fait d'une utilisation réduite de la climatisation dans les futures constructions.

Les besoins pour l'électricité spécifique sont estimés à 7,2 GWh / an pour l'ensemble de l'Ecopôle.

3.2 Quelles ressources énergétiques locales adaptées aux besoins de l'Écopôle ?

Un état des lieux exhaustif des ressources énergétiques locales a été réalisé. Cette analyse a permis d'identifier les potentiels locaux et de mettre en avant les technologies disponibles pour répondre aux besoins énergétiques de l'Écopôle.

Au vue des éléments apportés, les choix pour l'alimentation énergétique de l'Écopôle restent ouverts et larges. Trois usages sont à prendre en compte : la production de chaleur pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, et la production d'électricité. Les besoins en climatisation étant faible, les ressources locales pouvant permettre de répondre à cet usage n'ont pas été étudiées.

- **La production de chaleur pour le chauffage**

Les besoins totaux pour le chauffage sont estimés à 8,7 GWh / an pour le scénario de base, pour une puissance de 7,4 MW.

L'importance des besoins laissent à penser que l'utilisation d'énergies renouvelables passera par des solutions collectives. Il semble en effet compliqué pour des raisons d'acheminement de la ressource, de sécurité, de pollution locale et d'économie globale des projets de réaliser des projets décentralisés. Trois solutions sont alors envisageables, au regard des potentiels énoncés et de la possibilité de sécurisation de l'approvisionnement de la ressource :

- **L'utilisation du bois énergie** : La ressource biomasse est limitée même si elle est renouvelable. La ressource semble disponible en Ile de France, les structures d'approvisionnement se sont mises en place sur l'ensemble de la région. Des projets de grosses importances sont en train de voir le jour en Ile de France (15 MW bois à Cergy – Pontoise) et pourrait aider à la structuration de la filière. La technologie des chaufferies bois est maintenant éprouvée et bien connue. Cette filière est une filière mature et ne présenterait pas de difficulté pour l'EPA de Sénart.
- **L'utilisation des céréales combustibles** : Les expériences de chaufferie avec des céréales combustible (paille, céréales déclassées, ou autre) sont peu nombreuses et de ce fait, moins connues en terme de coût. Les technologies sont disponibles mais il n'existe actuellement pas de réseau de chaleur important en France fonctionnant avec de la biomasse autre que bois. Cependant, il existe une réelle motivation de la part des partenaires (Chambre d'agriculture).
- **La géothermie** : un réel potentiel existe, notamment avec la présence d'une nappe phréatique. Le choix de la géothermie sur nappe permettrait une forte sécurisation de l'offre énergétique sur l'Écopôle. Les coûts de forage sont toutes fois importants dès lors que l'on puise à de forte profondeur. Les technologies sont connues et maîtrisées, bien qu'aucun réseau de chaleur sur nappe phréatique n'ait été réalisé à ce jour en France. Une étude de faisabilité plus avancée serait nécessaire à la caractérisation du gisement.

Les solutions de chauffage solaire via des panneaux solaires semblent plus difficilement envisageables, de part l'importance des besoins et le type d'activité.

→ **Ces éléments amènent donc à analyser ces scénarios pour l'offre énergétique de l'Écopôle, comparés à un ou plusieurs scénarios de référence.**

- **La production d'eau chaude sanitaire**

Les activités de l'écopôle étant essentiellement tournées vers de l'activité de type tertiaire (bureau, commerce) et industriel, les besoins en eau chaude sanitaire sont limités. Des cas particuliers peuvent se présenter, selon les types d'activité qui s'implanteront sur l'Ecopôle. Des préconisations d'utilisation de solaire thermique pourraient être faites au cas par cas par l'aménageur.

→ Pour ces raisons, la production d'eau chaude solaire ne sera pas incluse dans les scénarios. Une étude de faisabilité pourra être réalisée au cas par cas par la suite.

- **La production d'électricité**

La production d'électricité d'origine renouvelable ne peut pas être envisagée comme une solution de sécurisation de l'approvisionnement électrique sur l'Ecopôle, l'électricité produite n'étant pas utilisée directement dans les bâtiments mais réinjectée sur le réseau.

La production d'électricité d'origine renouvelable peut cependant avoir un double intérêt :

- mettre en avant la volonté **de l'Ecopôle de réaliser un ecopôle exemplaire** du point de vue énergétique
- **tendre vers la « neutralité »** en terme d'émission de gaz à effet de serre.

Le grand éolien et l'éolien urbain semblent des solutions difficiles à mettre en place sur l'écopôle du fait d'une potentialité basse. Il n'y a a priori pas de contrainte patrimoniale et environnementale, mais l'impact paysager est souvent un vecteur limitant. Le photovoltaïque semble être une solution envisageable pour la production d'électricité, du fait d'un potentiel existant et des tarifs de rachat incitatifs.

→ La production d'électricité d'origine renouvelable peut être déconnectée de la problématique du chauffage. Cependant, dans le cas d'une volonté de « neutralité » énergétique de la zone, il peut être intéressant d'estimer les surfaces et coûts de panneaux photovoltaïques nécessaires.

3.3 Scénarios de demande et d'offre énergétique retenus

Sur la base des éléments présentés dans cette première partie, plusieurs scénarios d'approvisionnement énergétique mêlant scénario de demande et scénario d'offre ont été proposés.

3.3.1 Scénario de demande énergétique

Conformément aux hypothèses considérées et aux éléments présentés pour l'estimation des besoins énergétiques, les scénarios de demande énergétique suivant ont été retenus :

- Deux **niveaux de performance sont retenus** : HPE (Haute Performance Energétique) et THPE (Très Haute Performance Energétique)
- Le choix des niveaux de performance HPE et THPE implique une limitation de la climatisation. La possibilité de créer un réseau de froid est écartée. De plus, les scénarios pour la production

d'électricité peuvent être écartés de la problématique du chauffage. Les **scénarios ne portent donc que sur les besoins en chaleur**.

- Les scénarios sont réalisés sur **la zone du Charme Sud**. Le choix de travailler en priorité sur ce secteur est technique et stratégique: c'est en effet sur ce site que les besoins énergétiques sont, sur la base des hypothèses programmatiques envisagées, les plus faciles à estimer, et les plus « concentrés ». En effet, la programmation proposée y envisage l'implantation d'un noyau d'activités de type tertiaire, et la proximité de la gare RER en fait un site attractif, ce qui permet d'envisager un développement relativement peu étalé dans le temps.

Il est important de souligner que les éléments de programmation ne sont pas figés. A ce titre, l'exercice de scénarisation reste un exercice théorique et pourrait être réalisé sur une autre zone.

3.3.2 Scénarios d'offre

La tendance actuelle est à l'utilisation de solutions individuelles pour assurer le chauffage des locaux. L'utilisation de chaudières gaz individuelles est particulièrement répandue pour les activités industrielles, le gaz étant souvent utilisé pour les process. Pour les activités tertiaires, l'utilisation de pompes à chaleur air / air se développe, du fait de la possibilité de répondre aux besoins de chauffage et de climatisation.

Deux scénarios de référence sont alors considérés :

- Le chauffage est assuré par des chaudières gaz individuelles
- Le chauffage est assuré par des pompes à chaleur Air / air

L'analyse des ressources locales montre que les **solutions biomasse** (bois, céréales ou paille) et **géothermie sur nappe** peuvent apporter une forte réduction des émissions de gaz à effet de serre et satisfaire les besoins en chauffage de l'Ecopôle. Ces solutions peuvent difficilement être mise en place à un niveau individuel ou même de bâtiments, du fait des investissements lourds nécessaires. La valorisation de ces ressources locales passe donc par le développement d'un réseau de chaleur.

La collectivisation du système de chauffage présente un triple intérêt :

- L'utilisation d'énergies renouvelables et locales, difficilement envisageable à un niveau individuel, permet la réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- La concentration des moyens de production permet d'une part d'éviter aux entreprises d'utiliser une partie de leur foncier pour de la production de chaleur et d'autre part de se défaire de la maîtrise d'œuvre.
- L'utilisation de ressources locales permet de sécuriser l'approvisionnement énergétique et d'avoir une meilleure visibilité sur les prix des énergies et donc les prix de vente de chaleur. La collectivisation permet ainsi d'utiliser plusieurs sources énergétiques et de jouer sur les prix de chacune des énergies.

3 scénarios ont été retenus et comparés aux scénarios de référence :

- une solution de chauffage assurée par un **réseau de chaleur bois**
- une solution de chauffage assurée par un **réseau de chaleur céréales**
- une solution de chauffage assurée par un **réseau de chaleur utilisant la chaleur de la géothermie sur nappe**

4 Phase 2 : Scénarisation

Les différents scénarios sont analysés selon 3 axes : **technique, économique (analyse d'un point de vue global) et environnemental**. Les atouts et contraintes de chacune des solutions sont alors comparés, permettant de **choisir un scénario à approfondir**.

Les scénarios sont présentés et comparés en prenant en compte des hypothèses de base, qui semblent des hypothèses réalistes et permettant de raisonner toutes choses égales par ailleurs. Une analyse de risque qualitative est aussi réalisée, afin de mettre en avant les difficultés que pourraient rencontrer chacune des solutions. Enfin, une analyse des opportunités est aussi effectuée.

4.1 Hypothèses retenues pour la scénarisation

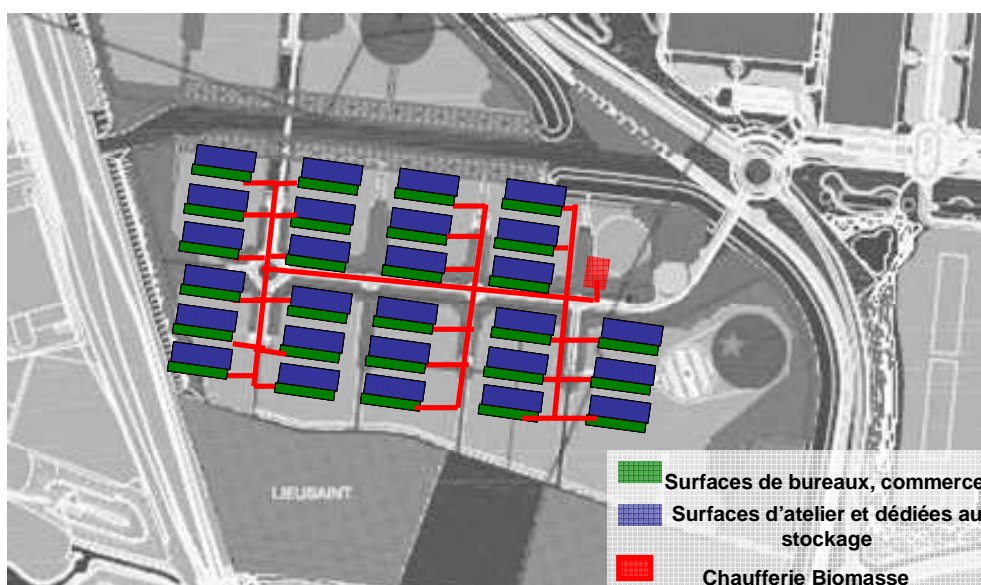
4.1.1 Hypothèses de programmation

Rappelons que l'ensemble de l'exercice de scénarisation porte sur le **Charme Sud**. Cet **exercice reste un exercice théorique**, les éléments de programmation n'étant pour l'instant pas figés et l'analyse pouvant être réalisée sur une autre zone.

Les hypothèses de programmation considérées sont des hypothèses réalistes :

- La construction des bâtiments s'étale sur 10 ans.
- Seules les surfaces tertiaires sont considérées, du fait de l'incertitude sur les besoins des surfaces industrielles.
- En première hypothèse, il est considéré que le Charme Sud accueillera à terme 27 bâtiments, soit une surface tertiaire de 2 500 m² par bâtiment.

Hypothèse de dispersion de la construction sur le Charme Sud



4.1.2 Hypothèses économiques

Même si les choix ne reposent pas que sur l'analyse économique, qui ne prend pas en compte certains impacts des diverses solutions, la réalisation d'un projet impose de trouver un équilibre économique. L'analyse s'attache à donner des indicateurs économiques pertinents permettant de comparer les scénarios entre eux.

L'analyse économique est réalisée dans un premier temps d'un **point de vue global**, avec le calcul du coût global actualisé¹ par m² par an. L'intérêt du coût global actualisé est de pouvoir comparer différents scénarios en prenant en compte l'ensemble des coûts induits par chacun des scénarios : coût d'investissement et d'exploitation pour les systèmes de chauffage, surcoût de la performance énergétique. Ce coût correspond au coût « pour la société », il ne tient pas compte de la diversité des acteurs économiques.

L'analyse économique présente aussi le coût de chacun des scénarios pour **les futurs utilisateurs**, afin de mettre en avant l'intérêt ou non pour un utilisateur de choisir une solution centralisée plutôt que décentralisée. Le coût présenté est un coût actualisé moyen par m² par an pour les futurs utilisateurs.

Les **investissements pour le chauffage** sont calculés en prenant en compte les équipements thermiques (chaufferie bois, chaudières individuelles gaz, PAC, etc.), le génie civil pour l'accueil des équipements, le réseau de chaleur (génie civil, sous station, canalisation), la régulation et contrôle, les frais d'études et d'ingénierie. Une **subvention de 40%** sur l'investissement des équipements est prise pour les scénarios de réseaux de chaleur. Cette subvention correspond aux subventions de la Région Ile de France et de l'ADEME.

Les **surcoûts de construction** liés à la performance énergétique sont estimés pour le calcul du coût global actualisé. Le niveau de performance HPE étant supposé le niveau de base, un surcoût de construction est affecté aux scénarios de demande énergétique THPE. Il est difficile d'estimer le surcoût réel de la performance énergétique, peu d'exemples existent actuellement. Par hypothèse, un **surcoût de 2%** est considéré.

Le chiffrage des **dépenses annuelles d'exploitation** pour le chauffage prend en compte les coûts de consommations d'énergie (consommations de bois, de gaz, d'électricité), les coûts d'exploitation et de maintenance (P2 et P3).

Les réseaux de chaleur bois, biomasse et boucle d'eau sont, par hypothèse, des **réseaux évolutifs** : la centrale de production et le réseau de chaleur sont construits en plusieurs étapes, afin de prendre en compte l'étalement dans le temps de la construction des bâtiments de l'Ecopôle.

En ce qui concerne l'évolution des prix des énergies, l'hypothèse adoptée ici est celle d'une augmentation de **2% par an en plus de l'inflation pour le gaz, et de 1% par an pour les autres énergies**.

Pour l'ensemble des scénarios, le **taux d'actualisation est pris à 4%**. La période considérée pour l'ensemble des scénarios est fixée à 25 ans (durée souvent retenue pour un contrat de concession, en lien avec la durée de vie des équipements).

¹ Le coût global actualisé est calculé en additionnant l'ensemble des coûts actualisés d'investissement et d'exploitation sur 25 ans, et en ramenant ce coût à un coût annuel par m².

4.2 Comparaisons des scénarios

4.2.1 Comparaison économique

Tableau 2. Comparaison économique selon le coût global actualisé des différents scénarios

	HPE Gaz	HPE PAC	THPE Gaz	HPE Réseau bois	THPE Réseau Bois	HPE Réseau Céréales	HPE Géothermie sur nappe
TOTAL Investissement	414 k€	1 981 k€	2 081 k€	2 025 k€	3 542 k€	2 054 k€	2 191 k€
Equipements chauffage	414 k€	1 981 k€	480 k€	1 174 k€	1 055 k€	1 216 k€	740 k€
Réseau de chaleur	0	0	0	1 487 k€	1 487 k€	1 487 k€	1 487 k€
Forage	0	0	0	0	0	0	672 k€
Bâti	0	0	1 600 k€	0	1 600 k€	0	0
Maîtrise d'œuvre, études	0	0	0	266 k€	254 k€	270 k€	290 k€
Subventions 40%	0	0	0	902 k€	855 k€	919 k€	998 k€
TOTAL Exploitation sur 25 ans	7 356 k€	8 400 k€	6 359 k€	4 685 k€	4 323 k€	4 802 k€	4 411 k€
P1 Gaz	6 783 k€	0	5 695 k€	832 k€	740 k€	832 k€	0
P1 Electricité	0	6 353 k€	0	0	0	0	2 751 k€
P1 Bois et Céréales	0	0	0	2 102 k€	1 868 k€	2 207 k€	0
P2 + P3 Chauffage	573 k€	2 047 k€	665 k€	1 751 k€	1 715 k€	1 763 k€	1 661 k€
CGA* par m² par an	2,44 €	3,30 €	2,98 €	2,55 €	3,17 €	2,60 €	2,54 €
TRB par rapport à la solution gaz		+ de 25 ans	+ de 25 ans	20	+ de 25 ans	21	20
Coût pour l'utilisateur € /m². an	2,44 €	3,30 €	2,98 €	1,87 €	2,50 €	1,87 €	1,87 €

* coût global actualisé

La comparaison économique des différents scénarios montrent que :

- Avec 40% de subventions, les scénarios « HPE Réseaux Bois » et « HPE Géothermie sur nappe » sont équivalents au scénario de référence « HPE gaz » en terme de coût global actualisé
- Cependant, malgré un taux de subventions de 40% et un CGA équivalent au scénario « HPE gaz », les solutions « HPE Réseau de chaleur Bois » et « HPE Géothermie sur nappe » ont un temps de retour important, du fait de l'étalement dans le temps de la construction des bâtiments de l'écopôle.
- Le scénario « HPE Réseau Céréales » possède un coût global actualisé légèrement supérieur au scénario « HPE Réseau Bois ». Cependant, la construction d'un réseau de chaleur bois pourrait être compatible par la suite à l'utilisation d'autres énergies qu'il ne serait pas possible d'imaginer en décentraliser, comme les céréales, la paille ou l'huile végétale.
- Les scénarios réseaux de chaleur permettent d'offrir un coût de l'énergie plus faible aux futurs usagers de l'Ecopôle, du fait d'une évolution plus faible du prix des énergies renouvelables par

rapport au prix du gaz. L'intérêt d'un réseau de chaleur utilisant des énergies renouvelables sera d'autant plus fort que le prix des énergies fossiles augmentera.

- Le surcoût de la performance THPE n'est pas compensé par les économies sur l'investissement des équipements et leur exploitation. Réaliser un réseau de chaleur implique de rester à un niveau de performance HPE afin de ne pas multiplier les contraintes pour les futurs entreprises. Il existe cependant une incertitude forte sur les surcoûts de construction. L'analyse de sensibilité réalisée sur le surcoût de la construction montre que pour un surcoût inférieur à 2% le scénario « THPE Réseau Bois » présente un coût global actualisé équivalent au scénario de référence « HPE Gaz ».

4.2.2 Comparaison environnementale

Les solutions « Réseau de chaleur Biomasse » et « Géothermie sur nappe » permettent le gain environnemental le plus important. Dans l'optique de revente des émissions de carbone évitées, les solutions réseau présentent un avantage certain.

Tableau 3. Comparaison environnementale des différents scénarios

	HPE Gaz	HPE PAC	THPE Gaz	HPE Réseau bois	THPE Réseau Bois	HPE Réseau Céréales	HPE Géothermie sur nappe
Tonnes de CO2 évitées par an rapport à la solution Gaz		489	235	718	731	718	663

4.2.3 Autres éléments de comparaison

Les éléments de comparaison présentés ci-dessus montrent que les scénarios « Réseau Biomasse » et « Réseau Géothermie sur nappe » sont proches en terme économique et environnementaux.

Le tableau ci-dessous présente les avantages et inconvénients de ces scénarios.

Tableau 4. Comparaison qualitative des scénarios

	Réseau bois	Réseau Céréales	Géothermie sur nappe
AVANTAGES	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'emplois locaux - Adaptabilité à d'autres combustibles - Production locale et coût de la ressource qui peut être mieux maîtrisé - Nombreux exemples de réseaux de chaleur bois en France - Approvisionnement structuré en Ile de France 	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'emplois locaux - Adaptabilité à d'autres combustibles - Production locale et coût de la ressource qui peut être mieux maîtrisé - Motivation forte des acteurs de la filière agricole 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation d'une ressource locale - Garantie AquaPAC (prise en charge du risque financier au cas où la ressource soit limitée)

INCONVENIENTS	<ul style="list-style-type: none"> - Approvisionnement par camions, nécessité de prévoir les infrastructures pour l'approvisionnement - Emprise foncière nécessaire - Besoin d'un fort taux de subventions - Besoins d'une demande énergétique minimale pour rentabiliser les investissements - attention particulière à porter sur le traitement des fumées 	<ul style="list-style-type: none"> - Approvisionnement qui n'est pas encore structuré en Ile de France - Approvisionnement par camions, nécessité de prévoir les infrastructures pour l'approvisionnement - Emprise foncière nécessaire - Besoin d'un fort taux de subventions - Besoins d'une demande énergétique minimale pour rentabiliser les investissements - peu d'exemple de réseaux paille ou céréales en France - Attention particulière à porter sur le traitement des fumées 	<ul style="list-style-type: none"> - Etude hydrologique et forage test nécessaire pour valider le potentiel - Délais pour l'exploration et la réalisation du réseau longs - Emissions possibles de fluides frigorigènes - Surcoût des équipements de diffusion de chaleur dans les bâtiments d'environ 15%, du fait de l'utilisation d'une énergie basse température - Aucune expérience de réseau de chaleur sur boucle d'eau en France
----------------------	---	---	---

4.3 Choix d'un scénario à approfondir

A la vue des éléments apportés, le scénario « Réseau de chaleur Bois » semble la solution la plus pertinente à approfondir :

- Economiquement, les scénarios « Réseaux de chaleur » ont un coût global actualisé équivalent à la solution de référence Gaz
- Les scénarios « Réseaux de chaleur biomasse » sont plus intéressants d'un point de vue environnemental que le scénario « Réseau de chaleur Géothermie sur nappe ».
- Bien que le potentiel sur la nappe phréatique soit apparemment important, une étude hydrologique et un forage test sont nécessaires pour valider ce potentiel.
- Les solutions Réseaux biomasse sont des solutions flexibles, car adaptables à d'autres sources d'énergie.
- Il n'existe pas d'exemple de réseau de chaleur sur nappe phréatique. A contrario, les solutions Bois sont connues et maîtrisées. De plus, la filière d'approvisionnement est structurée en Ile de France. La filière céréales est moins mature mais pourrait dans les années à venir être une autre source d'énergie utilisable.

5 Phase 3 : Approfondissement du scénario « Réseau de chaleur Bois »

La comparaison des différents scénarios s'est basée sur une analyse globale, sans prendre en compte la diversité des acteurs économiques et les différents montages financiers et juridiques possibles. Cette analyse a permis de prendre en compte le coût « pour la société » de chacune des solutions.

Cependant, dans l'optique de la réalisation d'un réseau de chaleur, il est nécessaire :

- d'estimer la **faisabilité économique du point de vue d'un futur délégataire**: bien que de nombreux montages juridiques soient possibles (concession, affermage, réseau de chaleur privé), l'hypothèse d'un délégataire réalisant les investissements et l'exploitation d'un réseau de chaleur est la plus répandue dans la réalisation et la gestion des réseaux de chaleur. L'analyse du point de vue d'un délégataire permet d'estimer l'intérêt économique pour un exploitant à la réalisation d'un réseau de chaleur et les conditions nécessaires (demande de chaleur minimum, subventions) pour atteindre des indicateurs économiques intéressants.
- De **réaliser une étude juridique pour identifier les montages organisationnels possible**. Il est à noter que le choix d'un montage juridique autre que la concession n'aurait pas de conséquence sur le bilan économique. Le choix aura une conséquence sur le montage financier, et particulièrement la question du « qui paye quoi ».

5.1 Analyse économique du point de vue d'un délégataire

5.1.1 Scénario de base

- **Rappel des hypothèses retenues**

Les **investissements** pour le réseau de chaleur bois ont été présentés dans la partie précédente. Ils prennent en compte les équipements thermiques (chaudières bois, chaudières gaz d'appoint), le génie civil, le réseau de chaleur (génie civil, sous station, canalisation). En première hypothèse, un taux de subvention de 40% est conservé.

Les **cashes flow** correspondent à la différence entre les recettes liées à la vente de la chaleur et aux dépenses d'exploitation. Le coût des énergies (consommation de bois, consommation de gaz) et les coûts d'exploitation et de maintenance (P2 et P3) ont été estimés dans la partie précédente.

En première hypothèse, le **prix de la chaleur vendue** est égal au coût de l'énergie qui serait payé par les occupants dans le cas d'une solution de référence gaz. Ce coût prend en compte le prix de la chaleur gaz ainsi que l'amortissement de l'investissement et l'exploitation pour les chaufferies gaz individuelles.

L'hypothèse d'une évolution des prix du **gaz de 2% par an** et du **bois de 1% par an est conservée**. L'évolution des prix de la chaleur gaz est prise aussi à 1% par an.

Les indicateurs économiques pris en compte sont :

- la **VAN (Valeur Actuelle Nette)** : la Valeur Actuelle nette (VAN) est la différence entre les cash flows actualisés générés par un investissement et le montant initial de l'investissement. Elle indique en fait l'enrichissement net qui découlerait de la réalisation de cet investissement. C'est un critère de choix, le projet le plus intéressant est celui avec la VAN la plus élevée. La VAN est calculée sur une période de 25 ans, estimée comme la durée de vie du réseau de chaleur, et avec un taux d'actualisation de 4%.
- Le **TRI (Taux de rentabilité Interne)** : Un projet d'investissement ne sera généralement retenu que si son TRI est suffisamment supérieur au taux d'actualisation, pour tenir compte notamment de la prime de risque propre à ce type de projet.

- **Indicateurs économiques**

Les indicateurs économiques estimés pour les scénarios « HPE Réseau Bois » et « THPE Réseau Bois » sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 5. Indicateurs économiques pour les scénarios « HPE Réseau Bois » et « THPE Réseau Bois »

	Scénario « HPE Réseau Bois »	Scénario « THPE Réseau Bois »
VAN	- 1 021 600 €	- 1 111 800 €
TRI	0 %	0 %

Avec les hypothèses considérées, les indicateurs économiques sont très peu intéressants pour un futur exploitant : la VAN est négative (ce qui signifie que l'exploitant perd de l'argent au bout de 25 ans) et le taux de rentabilité interne est nul. Cette rentabilité nulle s'explique par les premières hypothèses prises pour l'analyse économique :

- la **construction s'étale sur 10 ans** : l'étalement dans le temps de la construction implique que l'exploitant ne sera pleinement rémunéré qu'une fois l'ensemble des bâtiments construits.
- La **densité énergétique est faible** : rappelons qu'il a été considéré en première hypothèse que seule les surfaces tertiaires étaient alimentées par le réseau de chaleur, soit 30% de la surface totale sur le Charme Sud. Les surfaces industrielles avaient été écartées de la réflexion du fait de la méconnaissance des besoins réels. Il semble ici difficile de s'affranchir des surfaces industrielles pour la création d'un réseau de chaleur. Des exploitants de réseaux de chaleur ont été rencontrés dans le cadre de cette étude afin de définir les conditions d'acceptabilité pour un projet de réseau de chaleur. Bien qu'ils ne donnent pas de limite quant aux différents indicateurs économiques, il semble qu'un noyau de demande énergétique de 1 MW soit un minimum pour qu'un projet soit intéressant économiquement.
- Avec ces hypothèses de programmation, les **subventions à l'investissement** semblent insuffisantes. Il sera nécessaire d'étudier les besoins en subventions pour atteindre une bonne rentabilité économique.

Ces hypothèses de demandes énergétiques éclatées dans le temps et dans l'espace amènent à s'interroger sur les conditions optimales pour atteindre une rentabilité économique intéressante pour un exploitant. Un scénario optimum a donc été réalisé afin de mettre en avant les conditions en terme d'aménagement et de financement à la viabilité économique d'un réseau de chaleur bois.

5.1.2 Scénario optimum : conditions en terme de financement et de commercialisation pour la faisabilité économique d'un réseau de chaleur bois

Les hypothèses d'aménagement n'étant pas encore totalement fixées, il est proposé de réaliser un scénario théorique dans lequel la construction du réseau de chaleur est faite à partir d'un noyau de 1,3 MW de demande énergétique. Cette demande correspond par exemple aux besoins d'une surface tertiaire HPE de 25 000 m² mais pourrait être concentrée dans des bâtiments de moindre taille. L'exemple considéré est décrit dans le schéma suivant. Il est réalisé sur le Charme Sud mais pourrait être réalisé sur n'importe quelle zone de l'écopôle.

Exemple d'un noyau pour la construction d'un réseau de chaleur



Les hypothèses considérées sont des hypothèses relativement favorables :

- La **densité de construction** respecte les éléments de programmation fournis : le COS considéré est de 0,6 (hypothèse sur la zone du Charme Sud). Les 3 bâtiments sont construits sur un périmètre réduit et la chaufferie est proche de ces bâtiments.
- La construction des bâtiments est rapprochée dans le temps
- Le **prix du bois est de 20 € / MWh**

- Le **coût de la chaleur est équivalent au prix du gaz**
- On considère une **subvention de 50%** à l'investissement en chaufferie et sur le réseau de chaleur.
- Afin de prévoir l'étalement futur du réseau de chaleur à d'autres clients, le génie civil pour la chaufferie et le réseau de chaleur est surdimensionné pour accueillir d'autres équipements. Le raccordement à un réseau de chaleur bois est un avantage pour l'écopôle. A ce titre, il est considéré que le coût d'un surdimensionnement du génie civil est pris en charge par l'aménageur
- une **évolution par an du prix** du gaz de 2%, 1% pour le bois et 1,5% pour la chaleur vendue.

- **Indicateurs économiques**

Tableau 6. Indicateurs économiques pour le scénario « HPE Réseau Bois » **optimum**

	HPE Réseau Bois Scénario optimum
VAN au bout de 25 ans	154 900 €
TRI en %	7,0%

Avec 50% de subventions, le surdimensionnement du génie civil financé par l'aménageur, et un coût de la chaleur équivalent au prix du gaz, les **indicateurs économiques sont positifs, mais restent risqués.**

Pour atteindre des indicateurs économiques acceptables, une demande énergétique minimum est nécessaire pour envisager la construction d'un réseau de chaleur, avec une double condition : construction rapprochée dans le temps, et construction rapprochée dans l'espace.

Avec un COS de 0,6 comme prévu dans la programmation, il est possible d'avoir des indicateurs économiques positifs. La densité énergétique est donc essentielle. Il semble difficile de s'affranchir des surfaces industrielles. Cependant, l'incertitude sur la demande énergétique des surfaces industrielles est à la fois un risque et une opportunité : il peut exister un risque de demande énergétique trop faible, mais une opportunité de demande très élevée. Ces demandes ne peuvent être prises qu'au cas par cas, en fonction des besoins des entreprises qui souhaitent s'installer sur l'écopôle.

Ceci souligne la difficulté de réaliser ce type d'étude pour des zones à vocation industrielles, contrairement à des études énergétiques sur des zones tertiaires ou résidentielles, pour lesquelles les besoins énergétiques sont connus.

A ce jour, les éléments maîtrisables par l'EPA Sénart (surfaces tertiaires, demande énergétique des industries) ne permettent pas d'aboutir à un degré de certitude suffisant pour une décision positive. Cependant, un réseau de chaleur pourrait être réalisable en adaptant la stratégie de commercialisation :

- Ouverture de la zone commercialisable lorsqu'une demande énergétique est suffisante
- Réalisation d'un plan masse plus fin pour concentrer les besoins dans l'espace

Dès que l'EPA aura une visibilité sur des entreprises susceptibles d'accepter un raccordement à un réseau de chaleur, il conviendra d'examiner la demande correspondante, la concentration géographique et l'étalement dans le temps pour déterminer la faisabilité d'un réseau de chaleur bois.

5.2 Analyse juridique

L'analyse économique a permis de montrer que, si à ce jour, le degré de certitude quant à la réalisation d'un réseau de chaleur bois sur l'Écopôle n'amène pas à une décision positive, la stratégie de commercialisation peut être adaptée de manière à favoriser la faisabilité économique d'un réseau de chaleur.

La faisabilité juridique et organisationnelle est aussi à étudier. Trois interrogations principales se posent :

- 1- Quelle serait l'autorité compétente pour créer la chaufferie et le réseau de chaleur ?
- 2- Pour la construction et l'exploitation de la chaufferie et du réseau de chaleur quel serait l'outil juridique susceptible d'être mis en œuvre : concession, affermage, régie directe, PPP, autres ?
- 3- Comment s'assurer que les bâtiments qui seront érigés sur la zone seront effectivement raccordés au réseau de chaleur ?

5.2.1 Autorité compétente pour la création d'un réseau de chaleur

L'EPA est compétent en matière de création et d'aménagement de ZAC. Rien ne s'oppose à ce que l'EPA crée une chaufferie et un réseau de chaleur dans le cadre de l'aménagement.

Le réseau de chaleur n'est pas mentionné dans l'inventaire des équipements existants relevant de la compétence du SAN (arrêté 18 dec 2001, nouvel arrêté à brève échéance). Mais rien ne s'oppose à ce que de tels équipements soient rajoutés dans l'inventaire (Liste des Equipements Communs) sous réserves de délibération du SAN à la majorité des deux tiers reconnaissant l'équipement comme d'intérêt commun.

Si la compétence de l'EPA n'est pas contestable, rien de s'opposerait à ce qu'un Syndicat Mixte soit créé, et que compétence lui soit donné pour réaliser la chaufferie et le réseau de chaleur. Le Syndicat Mixte pourrait comprendre l'EPA et le SAN (en revanche les communes concernées ne pourraient pas l'être) et tout autre établissement public ou collectivité territoriale y ayant intérêt. Le syndicat Mixte aurait compétence pour mettre en œuvre une procédure de DSP (concession ou affermage) pour la réalisation et la gestion des équipements.

Nous évoquerons ici succinctement les différents montages juridiques susceptibles d'être mis en œuvre pour la construction et l'exploitation de la chaufferie et de son réseau de chaleur que nous dénommerons, ci-après, l'équipement.

5.2.2 Montages juridiques envisageables pour la création et l'exploitation de la chaufferie et du réseau de chaleur ?

- **Construction de l'ouvrage par l'EPA et exploitation par le SAN**

Dans cette hypothèse, l'EPA ferait construire l'équipement et aurait la qualité de maître d'ouvrage ; il financerait l'équipement, et celui-ci à achèvement serait alors transféré (en pleine propriété ou pas, avec paiement d'un prix ou non ?) au SAN qui en assurerait l'exploitation.

Cette exploitation par le SAN pourrait alors se faire soit en régie directe, soit dans le cadre d'un marché de services (procédure sans doute peu adaptée ici en présence d'usagers), soit, plus probablement dans le cadre d'un affermage (forme de Délégation de Service Public dans laquelle l'ouvrage est réalisé et l'exploitant a, à sa charge, la seule exploitation de l'équipement), les recettes d'exploitation proviennent alors des usagers pour l'essentiel.

Sur le plan juridique, cette première hypothèse ne pose pas de difficultés particulières.

- **Recours à un contrat de concession**

Il pourrait être envisagé de recourir à une concession, c'est-à-dire que dans ce type de délégation de service public, l'autorité organisatrice confierait à un tiers à la fois la construction et l'exploitation de l'équipement. Pour ce type d'équipement, cette solution est souvent retenue ; toutefois, en l'espèce une difficulté devrait préalablement être levée, à savoir qui de l'EPA ou du SAN serait l'autorité organisatrice ?

En effet, si l'on part du principe que la construction relève de la compétence de l'EPA et l'exploitation du SAN, nous aurions alors deux autorités organisatrices, ce qui semble difficile à mettre en œuvre, et juridiquement peu orthodoxe.

Une solution envisageable serait que l'EPA passe un tel contrat de concession, contrat dans lequel le SAN se substituerait à l'EPA, lorsque le SAN exercerait effectivement sa compétence « gestion de l'équipement » ou « gestion de la zone ».

Ce montage serait plus complexe que ceux examinés précédemment, mais il ne nous semble pas exister, pour autant, d'obstacles dirimants à sa mise en œuvre.

- **Le contrat de partenariat Public Privé dit PPP**

Le contrat de Partenariat Public Privé (PPP) est un contrat dit global par lequel la personne publique confie à un tiers, la mission de financer, construire et exploiter l'ouvrage.

En l'espèce, deux obstacles pour recourir à un PPP nous semblent ici se dresser :

- les cas d'ouverture envisagés (complexité du projet ou urgence) ne nous semblent ici pas permettre un recours à un tel contrat, ni la complexité, ni l'urgence ne semblent ici avérées.
- Les modalités de rémunération du partenaire ne semblent pas correspondre aux caractéristiques du projet. En effet, la rémunération du partenaire est étalée sur la durée du contrat, et comprend à la

fois la rémunération du coût de l'ouvrage et la rémunération liée à l'exploitation de celui-ci. Dans notre espèce, cela poserait difficulté, car si le PPP devait être conclu par le SAN, ce serait alors lui qui assumerait l'investissement, ce qui ne semble pas être ce qui est envisagé.

D'autre part et surtout, l'essentiel des recettes d'exploitation de l'ouvrage proviendront normalement des usagers : dans un tel cas, il y aurait risque de requalification du PPP en contrat de DSP.

En conclusion, en l'état, le recours au PPP n'apparaît pas envisageable ; toutefois, un projet de loi pour la réforme du PPP, réforme qui devrait conduire à un élargissement des possibilités de mise en œuvre d'un PPP d'une part, et devrait apporter des modifications au régime de la rémunération du partenaire d'autre part, a été annoncé. Il y aura lieu de réexaminer la situation après l'adoption du texte par le Parlement.

- **Autres hypothèses**

Le SAN semble avoir, sur son territoire, l'expérience d'équipements d'intérêt commun situés dans des ZAC, équipements gérés par une association foncière urbaine des propriétaires des lots de la ZAC ; une telle solution pour gérer des équipements communs à l'ensemble des propriétaires d'une ZAC (par l'intermédiaire d'une AFU ou d'une Association Syndicale) ne peut pas être écartée. Sur le plan juridique, cette solution n'est pas critiquable ; sur le plan pratique, il conviendra de veiller strictement à ce que d'une part, cette structure associative ait une compétence suffisante pour assurer la gestion d'un équipement telle qu'une chaufferie et un réseau de chaleur, et d'autre part que les cahiers des charges de cession soient extrêmement précis sur ce point, le risque étant qu'à l'occasion de cession de lots futures, de nouveaux propriétaires refusent d'adhérer à cette association et donc ne participent pas à la gestion et surtout au financement de la gestion de cet équipement.

L'hypothèse d'un réseau de chaleur privé, entièrement réalisé par un exploitant privé, peut aussi être envisagée.

5.2.3 Comment s'assurer que les bâtiments qui seront érigés sur la zone seront effectivement raccordés au réseau de chaleur ?

Pour assurer la rentabilité ou l'équilibre financier de l'ouvrage, et d'une manière plus générale, sa pertinence même, il est indispensable de s'assurer que les immeubles qui seront édifiés sur la zone seront bien raccordés au réseau de chaleur.

En droit français, et plus particulièrement en droit de l'urbanisme, les outils contraignants sont malheureusement rares, voire même inexistants. En effet, ni les dispositions législatives ou réglementaires du Code de l'Urbanisme, ni les dispositions du PLU ne peuvent imposer tel ou tel mode d'approvisionnement énergétique.

Deux outils, outre les outils incitatifs, peuvent permettre d'imposer un raccordement à un réseau de chaleur dans une zone déterminée :

- Le **classement du réseau de chaleur** : Au terme de l'article 5 de la loi n°80-531 du 15 juillet 1980, modifiée par la loi n° 2006-872 du 13 juillet 2001, une collectivité ou un EPCI peut demander le classement d'un réseau de chaleur existant ou à créer ; ce classement n'est possible que si le

réseau est alimenté majoritairement par de la chaleur produite à partir d'énergies renouvelables. Cette procédure de classement peu usitée jusqu'alors (à notre connaissance, il n'en n'existe qu'une à ce jour) apparaît adaptée aux zones d'urbanisation nouvelle, et cette procédure contraignante pour l'usager connaît un regain d'intérêt depuis deux ans et plusieurs demandes de classement seraient en cours d'instruction.

- **L'insertion d'une clause dans le cahier des charges de cession** : le cahier des charges de cession peut fixer des prescriptions techniques, urbanistiques et architecturales. Le raccordement à un réseau de chaleur peut être inséré à titre de prescription technique. En cas de non respect, la vente peut être annulée, mais cette sanction semble difficile à appliquer en pratique. Une sanction financière peut être mise en place mais peut être éventuellement contestable si le raccordement n'est pas une option économique raisonnable.

6 Phase 4 : Vers un écopôle à Carbone Zéro ?

La comparaison des scénarios d'approvisionnement a permis de mettre en avant l'intérêt d'un réseau de chaleur bois pour répondre aux besoins thermiques de l'écopôle, mais aussi la difficulté à ce jour d'aboutir à une décision positive du fait de l'incertitude qu'il existe aujourd'hui sur les besoins futurs de l'écopôle.

Cependant, il a été montré qu'un réseau de chaleur serait réalisable en adaptant la stratégie de commercialisation et que celui-ci représenterait une véritable opportunité pour les futurs usagers de l'Ecopôle.

Un réseau de chaleur Biomasse permet aussi d'avoir un impact environnemental fort, car il est considéré que la biomasse est neutre en émissions de CO₂. Si les besoins thermiques sont couverts majoritairement par une énergie renouvelable, l'exemplarité de l'Ecopôle peut être poussée plus loin en réalisant un écopôle à Carbone Zéro.

L'exercice réalisé étant un exercice théorique, il est proposé de raisonner sur le scénario de base « HPE Réseau Bois » décrit dans le paragraphe 5.1.1. Le solaire photovoltaïque compenserait les émissions induites par la combustion du gaz et par l'électricité. L'analyse doit permettre de définir les surfaces de photovoltaïque nécessaire pour compenser les émissions de gaz à effet de serre.

6.1 Surfaces de panneaux photovoltaïques nécessaires à la compensation des émissions

Le bois est considéré comme une énergie renouvelable. A ce titre, il est considéré comme neutre d'un point de vue GES. Pour l'électricité, le coefficient d'émission par kWh retenu est 60 g CO₂ / kWh, conformément à la note ADEME – EDF pour les usages intermittents.

A terme, les émissions totales du Charme Sud sont estimées à **250 tonnes de CO₂ / an**.

La production photovoltaïque permet d'éviter 100 g CO₂ / kWh produit, ce qui correspond au facteur d'émission moyen du kWh électrique en France. Selon l'orientation des panneaux photovoltaïques, la production, et par conséquent les émissions évitées par m², seront différentes.

Tableau 7. Surfaces de panneaux photovoltaïques et surfaces au sol nécessaires

	Productible 35° Sud	Verticale Sud	Horizontale
m ² PV nécessaire	45 185	67 703	49 209
M ² au sol nécessaire	117 480	67 703	49 209

Les surfaces de panneaux photovoltaïques nécessaires pour compenser les émissions de gaz à effet de serre de l'ensemble du Charme Sud sont très importantes. L'inclinaison des panneaux photovoltaïques de 35° permet d'atteindre la production par m² la plus élevée. Cependant, il est nécessaire d'estimer la surface de toiture, ou de sol, qu'il sera nécessaire pour installer les panneaux. L'angle des rayons du soleil est de 16°. Afin de ne pas masquer la deuxième rangée de panneaux, il est nécessaire de prendre un rapport Aire panneaux / Aire sol de 38%.

Les surfaces au sol nécessaires pour compenser les émissions de gaz à effet de serre des surfaces tertiaires sont très importantes. Rappelons que sur le Charme Sud ; les surfaces tertiaires représentent 67 000 m² SHON.

6.2 Chiffrage économique

Le chiffrage économique est réalisé en prenant comme hypothèse :

- un **coût de 7,5 € HT / Wc** installé (10 m² = 1 kWc)
- une **subvention de 30%** sur l'investissement (subvention ADEME et Région Ile de France)
- un **tarif de rachat de 55 c€ HT / kWh** produit. La construction de bâtiment neuf est l'occasion d'intégrer dans la conception l'installation de panneaux solaires photovoltaïques. Il est pris en première hypothèse que les panneaux solaires seront intégrés aux bâtiments et bénéficieront d'un tarif de rachat à 55c€ / kWh produit.
- Un **coût d'exploitation correspondant à 1%** de l'investissement par an.

Le tableau suivant présente les coûts d'investissement et d'exploitation pour chacune des orientations retenues. Les temps de retours brut sont aussi indiqués.

Tableau 8. Surfaces au sol nécessaires

	Productible 35° Sud	Verticale Sud	Horizontale
Coût d'investissement (subventions déduites)	23 722 200 €	35 544 000 €	25 834 600 €
Recettes d'exploitation	1 910 200 €	1 741 300 €	1 880 000 €
Temps de retour brut	12	20	14

Le chiffrage économique permettant d'atteindre la neutralité carbone sur la zone du Charme Sud amène à trois remarques :

- les **investissements sont importants** : le surcoût de l'installation de panneaux photovoltaïques pour les surfaces tertiaires représente 350 € / m², soit un surcoût de 30% par rapport au prix de la construction (pris par hypothèse à 1 200 € / m²). Cependant, des systèmes de location de toiture existent : des investisseurs privés financent les panneaux solaires photovoltaïques et les entreprises présentes sur l'Ecopôle louent leur toiture. Ce système peut permettre le financement des panneaux solaires photovoltaïques.
- Les **temps de retour, subventions comprises, sont relativement intéressants**, si l'on considère que la durée de vie de panneaux photovoltaïques est de 20 ans.
- L'**installation de panneaux solaires à l'horizontale** est un bon compromis entre coût d'investissement et surface nécessaire à mobiliser.

7 Conclusions

Cette étude a permis :

- De réaliser un inventaire des filières renouvelables adaptables à l'Ecopôle, et de manière plus large, aux parcs d'activité sénartais.
- De réaliser une modélisation économique des différentes solutions, et notamment d'une solution Réseau de Chaleur Bois. A l'heure actuelle, cette modélisation reste théorique mais pourra être utilisée lorsque la demande énergétique de futures entreprises sera connue.
- De mettre en avant la difficulté à réaliser des études d'approvisionnement énergétique en amont sur des zones d'activité de type industriel, contrairement à des ZAC à vocation tertiaire ou résidentielle.

A l'heure actuelle, les facteurs aujourd'hui maîtrisables par l'EPA (surface en tertiaire, densité, étalement dans le temps) ne permettent pas d'aboutir à un degré de certitude suffisant pour une décision positive concernant l'implantation d'un réseau de chaleur bois.

Cependant, un réseau de chaleur pourrait être réalisable en adaptant la stratégie de commercialisation :

- Ouverture de zone commercialisable lorsqu'une demande énergétique suffisante est identifiée
- Réalisation de plan masse plus fin pour concentrer les besoins énergétiques dans l'espace

Si les besoins énergétiques ne sont pas encore définis, la réflexion d'un point de vue juridique peut dès aujourd'hui être engagée. Les montages juridiques possibles sont nombreux et dépendent des capacités de financement, de prises de compétence et d'engagement des différents partenaires. Lorsque les conditions pour la réalisation d'un réseau de chaleur seront réunies, les démarches entreprises pour le montage juridique retenu (prises de compétence, etc) permettront de réduire les délais de réalisation du réseau.

Enfin, tendre vers un Ecopôle à « Carbone Zéro » semble difficile mais reste faisable : les surfaces nécessaires sont grandes, les coûts d'investissement sont importants, mais des solutions de financement existent.