



Ville de Noisy-le-Grand

Secteur Maille Horizon Nord

Etude de faisabilité sur le potentiel de
développement en énergies renouvelables

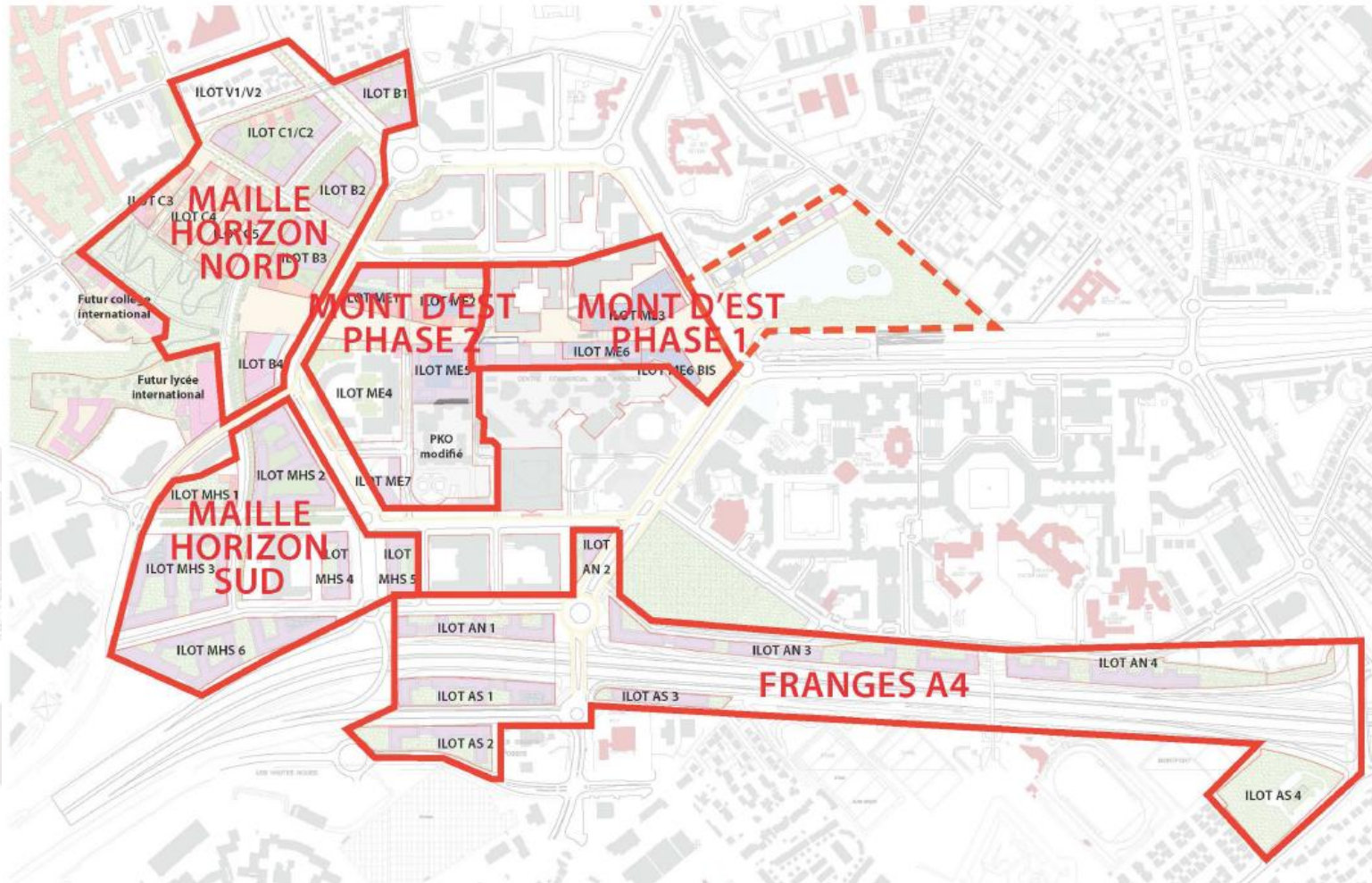
Mise à jour mars 2014 suite à nouvelle répartition
des surfaces constructibles

CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE

- Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une obligation réglementaire (Loi Grenelle I) :
 - **Article L. 128-4 CU** – « 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. »
 - Concrètement, il s'agit d'étudier la faisabilité de différents systèmes énergétiques de chauffage, de climatisation et de production d'eau chaude sanitaire pour l'approvisionnement en énergie de des bâtiments de l'opération
- La présente étude a pour objectifs :
 - D'estimer les besoins énergétiques des bâtiments
 - De définir les potentialités existantes et naturelles du site en termes d'énergies renouvelables
 - D'étudier les possibilités de desserte énergétique, afin d'anticiper si nécessaire les impacts en termes d'infrastructures
 - De comparer de manière technique, économique et environnementale les différentes solutions énergétiques envisageables afin d'amener des éléments de décisions pour la suite du projet
- La présente mise à jour a pour objectif de mettre en concordance l'étude avec la nouvelle programmation du 10/02/2014 de l'Agence Devilliers

OPÉRATION D'AMÉNAGEMENT ET CONTEXTE

- L'aménagement du secteur Maille Horizon Nord s'inscrit dans le cadre du Grand Projet Ouest de Noisy-le-Grand.



OPÉRATION D'AMÉNAGEMENT ET CONTEXTE

- Le site Maille Horizon Nord s'étend sur une surface de 20 ha. L'opération d'aménagement comprend la réalisation :

- de 823 logements (700 prévus initialement)
- de 83 721 m² de bureaux
- de 3 889 m² de commerces et de service
- d'un grand parc paysagé d'environ 7 000 m²
- d'un collège international
- 1 groupe scolaire en C4 (6 836 m²)
- 1 hôtel

- Rendu intermédiaire :

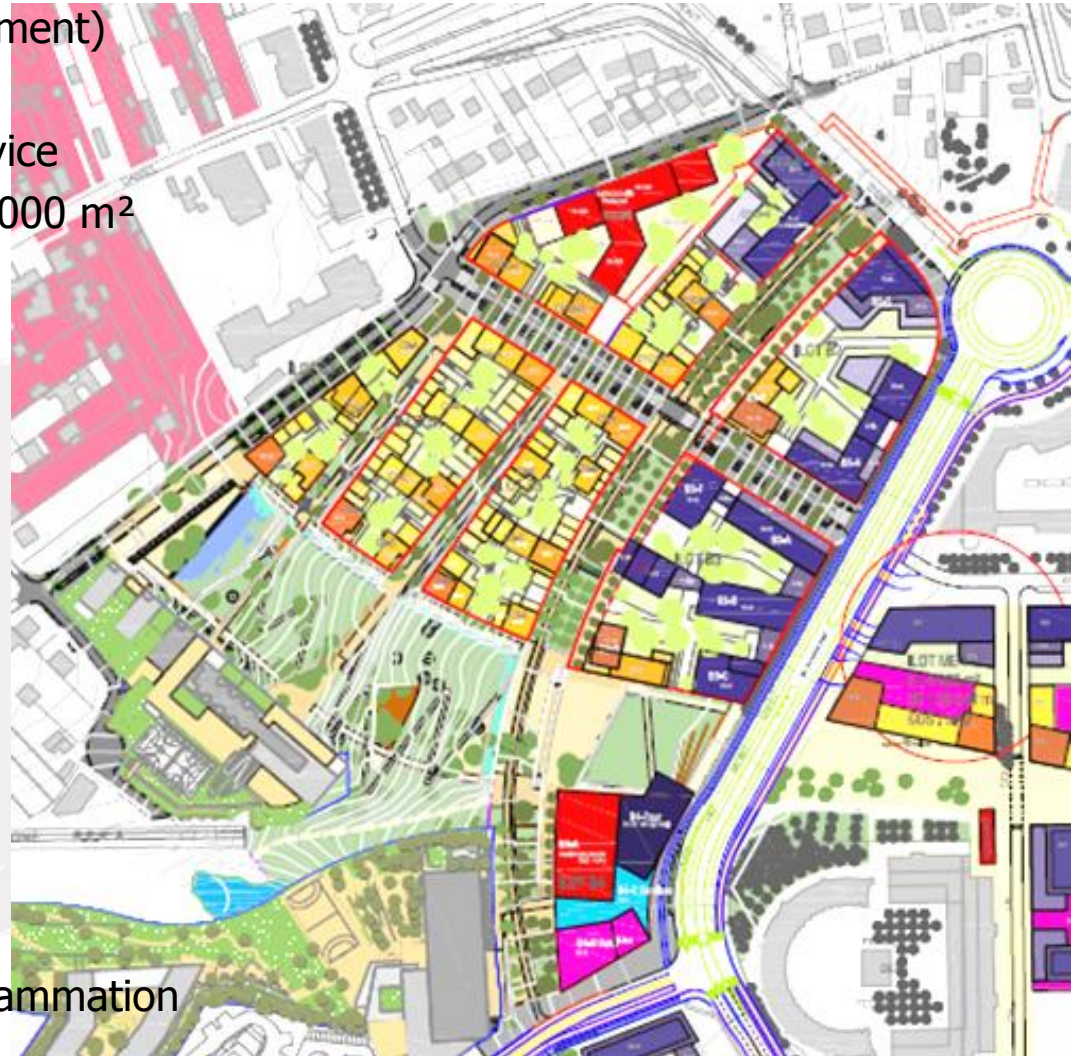
- Avec ilots V1/V2

- Rendu final :

- Sans ilots V1/V2, avec groupe scolaire en C4, densification autres secteurs pour conserver la même surface bâti

- MAJ 03/2014:

- Densification et changement de programmation

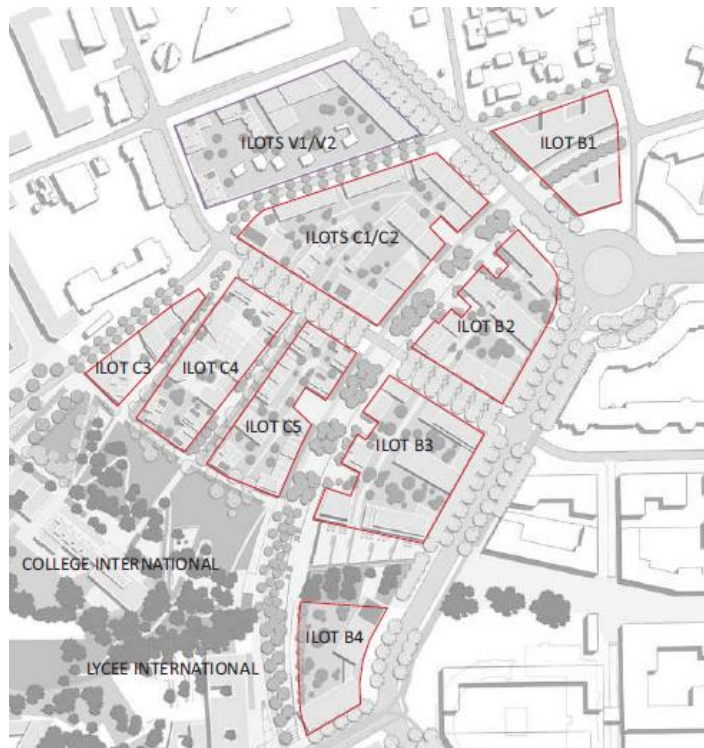




1. ESTIMATION DES BESOINS



1.1 LE PERIMETRE (MARS 2013)



- Le périmètre de cette étude comprend les projets de réalisation du programme suivant :

Programme	Surface Bureaux	Surface Logements	Surface Comm./Act.	Surface Equipt	Surface totale	Phasage	Nb de logements
	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²		
Balcon							
B1	14 476				14 476	2015/2017	
B2	15 845	8 053	682		24 580	2015/2017	101
B3	20 877	8 371			29 248	2015/2017	105
B4	21 758			7 392	29 150	2015/2017	0
Coteau							
C1/C2	20 345	5 206			25 551	2017/2020	65
C3		4 697	1 752		6 449	2017/2020	59
C4		2 412		5 000	7 412	2017/2020	30
C5		10 039			10 039	2017/2020	125
C6'	9 000	5 520			14 520	2017/2020	69
Total	102 301	44 298	2 434	12 392	161 425	-	554

C6' : Ancien secteur V1/V2, secteur fictif : représente la densification des autres secteurs

- Les projets suivants ont été écartés :
 - Le parc paysagé : L'étude se limitera aux consommations d'énergie des bâtiments et non de l'énergie dans les espaces publics : Les principales consommations d'énergie dans l'espace public étant liées à l'éclairage qui a fait l'objet d'études approfondies de la part de la maîtrise d'œuvre.
 - Le collège international : L'état d'avancement de la construction du collège n'est pas adapté à la réalisation d'une étude du potentiel de développement d'énergie renouvelable. En effet, il est en phase travaux, avec un projet clairement défini et des ambitions importantes au niveau énergétique : bâtiment à énergie zéro utilisant des énergies renouvelables (dont la géothermie).

1.1 LE PERIMETRE (MARS 2014)

- Le nouveau périmètre du secteur Maille Horizon Nord étudiant comporte les surfaces suivantes par type de locaux:

Programme	Surface Bureaux	Surface Logements	Niombre de logement	Surface Comm./Act.	Surface Equipt	Surface Hotel	Surface totale
	<i>m²</i>	<i>m²</i>		<i>m²</i>	<i>m²</i>	<i>m²</i>	<i>m²</i>
Balcon							
B2	24 119	5 261	80	413			29 873
B3	28 451	5 055	77	1 866	409		35 858
B4	16 859			788	2 843	6 836	20 490
Coteau							
C1/C2	14 292	11 627	176	432	6 087		32 614
C3		6 635	101	233	609		7 578
C4		12 976	197	157			13 330
C5		12 788	194	0			12 982
Total	83 721	54 342	825	3 889	9 948	6 836	152 725

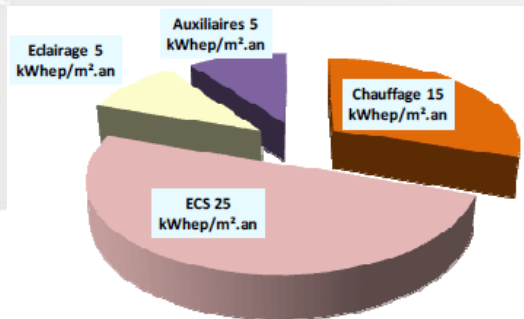
- Les différences avec le projet de 2013 sont :
 - La suppression des secteurs B1 et B4
 - La « tertiairisation » du balcon, avec plus de bureaux et moins de logements
 - Un baisse importantes des surfaces de bureaux
 - Une hausse des surfaces consacrés aux logements (10 000 m² de plus et plus de 150 logements supplémentaires avec l'intégration de commerces/services de petites tailles dans la plupart des ilots
 - Une hausse des surfaces liées aux équipements (groupes scolaires, etc.)

1.2 LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE

- Conformément à l'article 4 de la loi Grenelle 1, la réglementation thermique (RT) 2012 a pour objectif de limiter la consommation d'énergie primaire des bâtiments neufs à un maximum de **50 kWhEP/m²/an** (valeur moyenne)
 - Cette consommation englobe :
 - le chauffage et ses auxiliaires
 - la climatisation
 - l'éclairage
 - l'eau chaude sanitaire (ECS)
 - la ventilation
 - Ce seuil est modulé selon la localisation géographique, les caractéristiques et l'usage des bâtiments et la production d'énergie retenue
 - Elle ne prend pas en compte l' « électricité spécifique » : informatiques, électroménager, ...

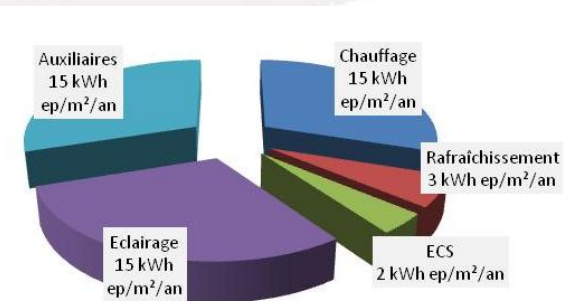
A Noisy-le-Grand, ce seuil est de l'ordre de **69 kWh ep/m²/an pour des logements collectifs**, de **110 kWh ep/m²/an pour le groupe scolaire** et de **77 kWh ep/m²/an pour des bâtiments tertiaires**.

Ces seuils peuvent être plus élevés dans le cas d'un raccordement à un réseau de chaleur ENR ou le choix d'un système bois énergie



Répartition type par poste pour un bâtiment de logements RT 2012

www.inddigo.com



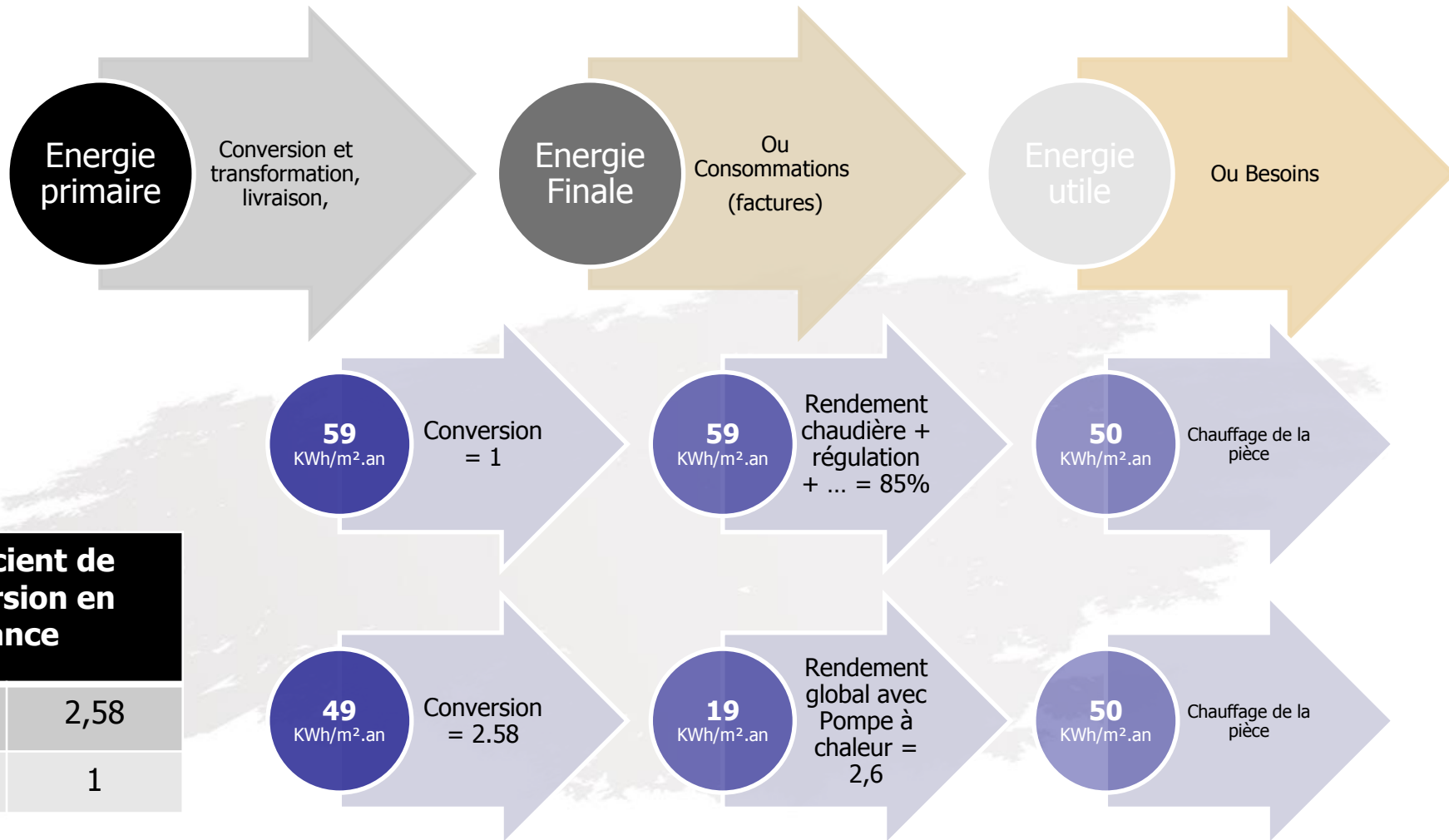
Répartition type par poste pour un bâtiment de bureaux RT 2012

1.2 LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE

- Remarques importantes :
 - La RT fixe des objectifs en termes de consommations d'énergie, et non de besoins :
 - Les besoins en énergie sont la quantité de chaleur nécessaire à l'utilisateur final pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, Elles sont fonction de la qualité d'isolation du bâtiment, de la ventilation et de l'utilisation des bâtiments
 - Les consommations correspondant aux quantités de chaleur payées par l'utilisateur final, elles sont fonction des besoins mais également du rendement des équipements
 - La RT fixe des objectifs en kWh d'énergie primaire :
 - L'énergie primaire est utilisée par opposition à l'énergie finale
 - L'énergie finale est celle consommée et payée par l'utilisateur, alors que l'énergie primaire prend également en compte les pertes liées à la production, à la distribution et au stockage de l'énergie en amont.
 - Le ratio de conversion énergie primaire / énergie finale varie selon le type d'énergie :
 - Le gaz et le fioul sont directement brûlés sur le lieu de consommation et l'énergie primaire est égale à l'énergie finale
 - Par contre, l'électricité est produite majoritairement dans des centrales thermiques et n'est pas une source « primaire » d'énergie. Les rendements de ces centrales et les pertes liées aux transports font que pour 1 kWh d'énergie finale consommée, 2,58 kWh d'énergie primaire sont nécessaires.

1.2 LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE

- De quelle énergie parle-t-on ?



Coefficient de conversion en France	
Electricité	2,58
Autres	1

1.3 HYPOTHÈSES

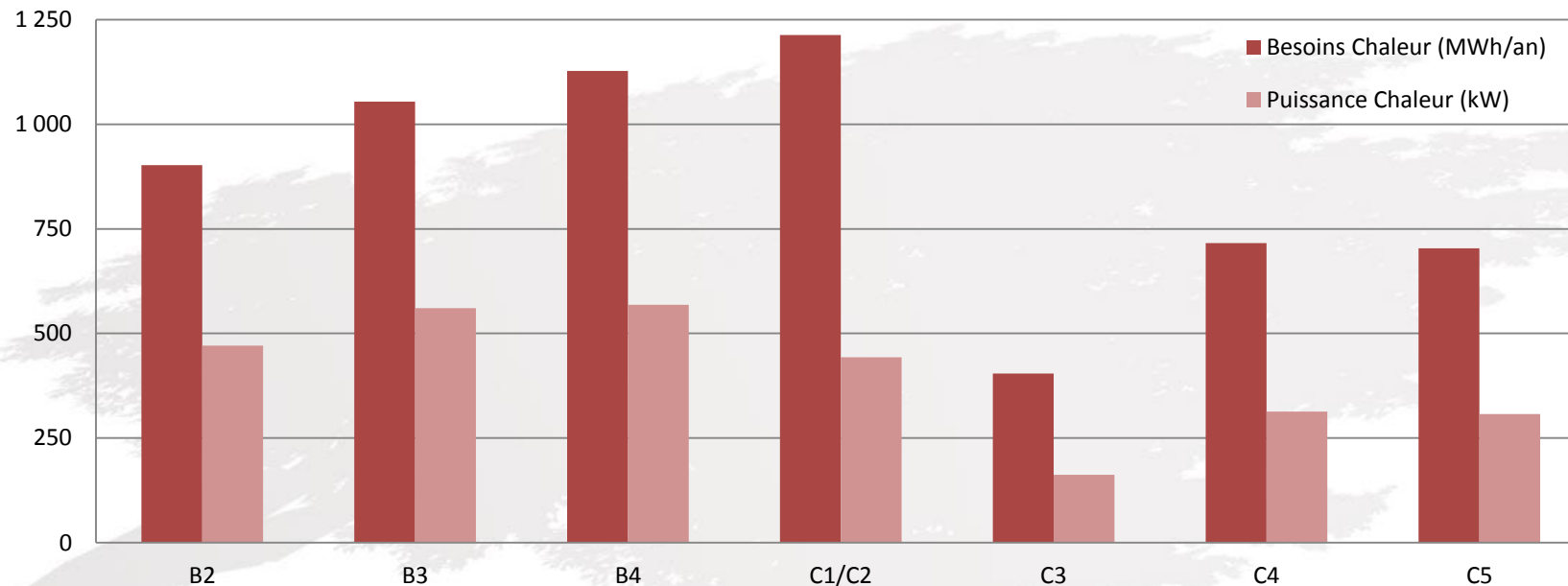
- Les hypothèses des besoins sont faites sur la base :
 - des répartitions énergétiques RT 2012 type des différents usages énergétiques
 - des exigences de la RT 2012 à Noisy-le-Grand
 - des hypothèses retenues compte-tenu du phasage de l'opération :
 - Horizon 2017 : RT 2012 - 20% (THPE)
 - Horizon 2020 : RT 2012 - 50%
 - Pour les logements, les besoins d'ECS sont estimés sur la base d'un logement de 80 m² avec 3 personnes et une consommation de 50 l/jour/personne.

	Besoins Chauffage	Besoins ECS	Besoins de froid	Conso d'élec spécifique
	kWhEU/an	kWhEU/an	kWhEU/an	kWhEF/an
<i>RT 2012 - 20%</i>				
Logements	22	40		9
Hotel	30	49		
Bureaux	27	2	23	28
Commerces / services	20	2	40	50
Equipement (GS)	58	2	0	15
<i>RT 2012 - 50%</i>				
Logements	15	40		6
Bureaux	17	2	14	18
Commerces / services	15	2	20	35

1.4 BESOINS ÉNERGÉTIQUES

- Besoins de chauffage et d'ECS à couvrir :
 - Besoins de chaleur (eau chaude et chauffage) de l'ordre de 6 100 MWh/an
 - Puissance nécessaire de l'ordre de 2 800 MW

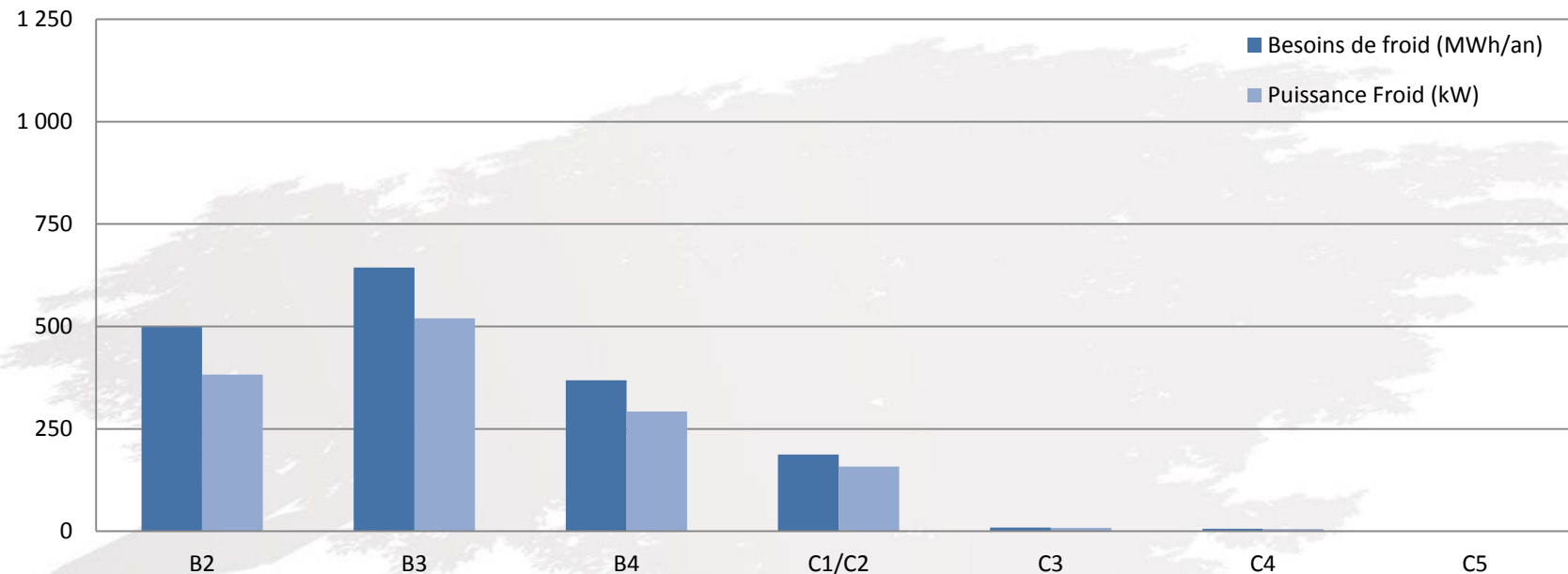
Besoins et puissances en chaleur des parcelles



1.4 BESOINS ÉNERGÉTIQUES

- Besoins de froid :
 - Besoins de froid de l'ordre de 1 700 MWh (pour les commerces et les bureaux)
 - Puissance nécessaire de l'ordre de 1 36 MW

Besoins et puissances en froid des parcelles





2. Potentiel Energies renouvelables

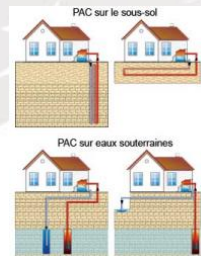


1. LA GEOTHERMIE

1.1 Les gisements géothermiques

La classification la plus courante concernant les gisements géothermiques est celle du Code Minier et distingue quatre grands types de gisements selon les températures :

- La géothermie « très basse énergie » : ($T < 30^{\circ}\text{C}$) est exploitée pour le chauffage et le rafraîchissement des maisons ou des bâtiments collectifs, et aussi pour la production de l'eau chaude sanitaire. La production de chaleur s'effectue à l'aide d'une pompe à chaleur qui prélève dans le sol l'énergie thermique.
- La géothermie « basse énergie » : ($30^{\circ}\text{C} < T < 90^{\circ}\text{C}$) correspond à une exploitation directe de la chaleur. Le rendement est trop faible pour pouvoir produire de l'électricité, mais elle permet de couvrir une large gamme d'usages : chauffage urbain, chauffage de serres, utilisation de chaleur dans les process industriels, thermalisme...
- La géothermie « moyenne énergie » : ($90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$), pour la production de l'électricité avec un fluide intermédiaire.
- La géothermie « haute énergie » : ($T > 150^{\circ}\text{C}$) Ces gisements sont essentiellement rencontrés dans les zones d'anomalies thermiques. La température supérieure à 150°C permet de transformer directement la vapeur en électricité.



Géothermie « basse énergie » Schéma de principe PAC sur sous sol et sur eaux souterraines



Géothermie « basse énergie » La Courneuve (1993)



Géothermie « haute énergie » Centrale de Bouillante (Guadeloupe)

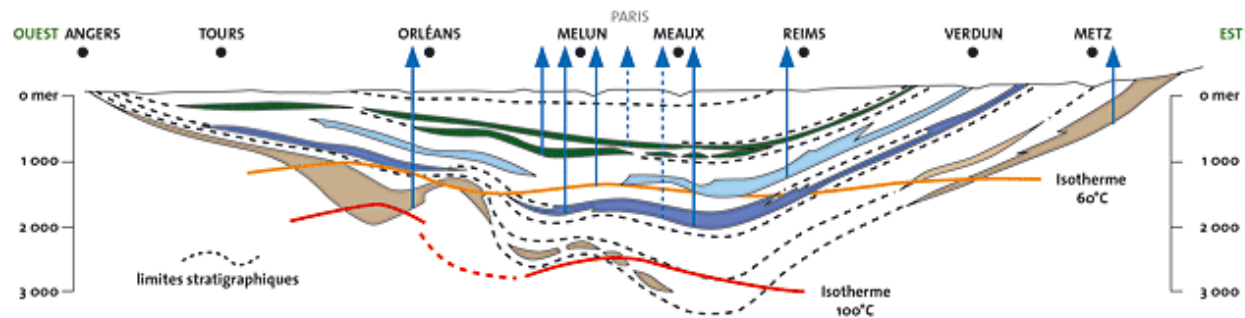
Source BRGM

1. LA GEOTHERMIE

1.2 La géothermie en Ile-de-France

- Le bassin parisien est l'un des bassins sédimentaires qui bénéficie de conditions géologiques favorables à l'exploitation de la géothermie, de type « basse énergie » et « très basse énergie ». En effet, ce bassin sédimentaire comporte cinq grands aquifères :

Les grands aquifères du Bassin parisien



PÉRIODES		AQUIFÈRES	
TERTIAIRE 65 millions d'années			
SECONDAIRE	CRÉTACÉ 140 millions d'années	NÉOCRÉTACÉ	Sables de l'Albien
		ÉOCRÉTACÉ	Sables du Néocomien
	JURASSIQUE 195 millions d'années	MALM	Calcaires du Lusitanien
		DOGGER	Calcaires du Dogger
		LIAS	Grès du Retien
TRIAS 225 millions d'années	TRIAS	Grès de Lorraine à l'est Grès fluviatiles à l'ouest	
PRIMAIRE			

Source BRGM

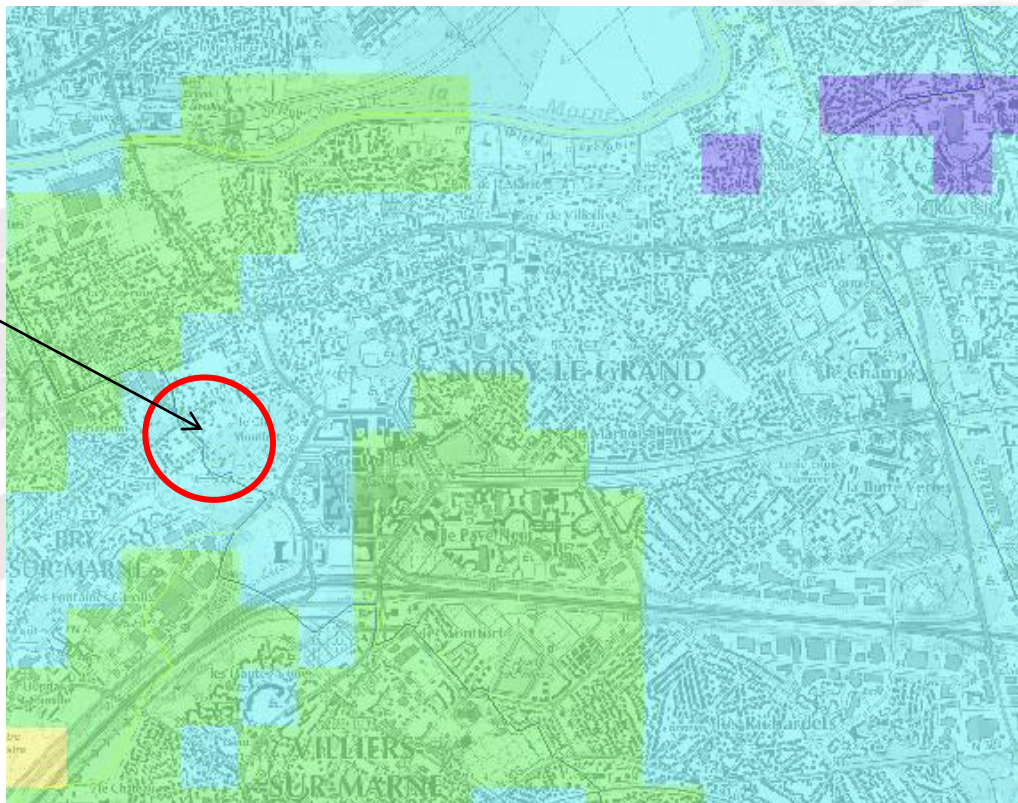


1. LA GEOTHERMIE

1.3 Contexte géothermique à Noisy-le-Grand

- À partir de carte d'inventaire des aquifères existants et de leurs caractéristiques, le BRGM a élaboré, un système d'informations géographiques (SIG) dans le cadre d'un partenariat avec l'ADEME, l'ARENE et EDF. Cet outil permet d'indiquer, pour un endroit donné, si le débit qu'il est possible de soutirer grâce à l'installation de pompes à chaleur permet d'envisager le chauffage de locaux par PAC.
- Potentiel pour l'opération: L'extrait de ce SIG présenté ci-dessous indique un potentiel fort (En géothermie très basse énergie) pour la zone du projet :

Secteur Maille
Horizon Nord



Légende

Potentiel géothermique du meilleur aquifère

- Très fort
- Fort
- Moyen
- Faible
- Très faible
- Autre aquifère

Nappe de l'Eocène moyen et inférieur

Potentiel : **Fort**
Profondeur : **21-30 m**
Débit : **2-10 m³/h**
Epaisseur : **75-150 m**
Transmissivité : **< 0.001 m²/s**
Peu minéralisée

2. L'ÉOLIEN

2.1 Le potentiel sur la commune

- Le secteur ne se trouve pas en Zone de Développement de l'Eolien (ZDE), permettant de bénéficier d'un tarif de rachat de l'électricité produite ;
- Il est préférable d'avoir un site dégagé. Le potentiel peut donc être limité en milieu urbain.

2.2 Les caractéristiques de l'éolien :

- En site isolé, il est intéressant de consommer directement l'énergie produite mais en présence d'un réseau électrique, l'électricité produite est ré-injectée avec deux options possibles : l'autoconsommation avec revente du surplus ou la revente totale
- L'investissement est variable selon la gamme de puissance et la technologie mais reste élevé. Les éoliennes à axe horizontal sont les plus répandues et les plus matures. A noter que pour des hauteurs supérieures à 12 m, il est nécessaire de déposer un permis de construire.
- Potentiel pour l'opération : Le micro-éolien est plus adapté pour une opération d'aménagement, en intégration bâtiments ou parcelles, et éventuellement sur l'espace public (cf. 3.4 sur les espaces publics)

Investissement initial et production annuelle
selon la puissance installée

Puissance nominale	Diamètre	Prix installée (HT)	Production annuelle
100 à 500 W	0,5 - 2 m	3 000 - 5 000 €	200 - 1000 kWh
500 W à 1 kW	2 - 3 m	5 000 - 14 000 €	1000 - 2000 kWh
1 kW à 5 kW	3 - 6 m	14 000 - 35 000 €	2000 - 10 000 kWh
5 kW à 10 kW	6 - 8 m	35 000 - 45 000 €	10 MWh - 20 MWh
10 kW à 20 kW	8 - 12 m	45 000 - 80 000 €	20 MWh - 40 MWh

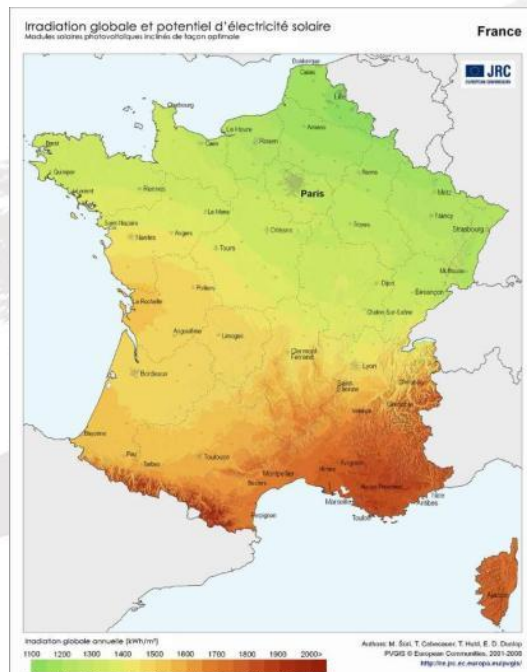


Deux types d'éoliennes à axe horizontal et vertical- Combourg (35)

3. LE SOLAIRE

3.1 Le potentiel sur la commune

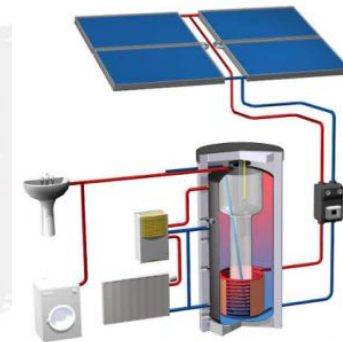
- La ressource est disponible à l'échelle nationale et présente des différences selon les régions. En région parisienne, le flux solaire incident est compris entre 1 200 et 1 300 kWh/m², soit un potentiel solaire faible
- L'énergie solaire a deux applications différentes :
 - Solaire photovoltaïque : panneaux permettant de produire de l'électricité, grâce à une réaction photoélectrique.
 - Solaire thermique : panneaux permettant de produire l'eau chaude, grâce à la circulation d'un fluide intermédiaire dans les capteurs solaires



Carte du potentiel solaire français



Exemple de panneaux solaires photovoltaïques



Principe d'une installation solaire thermique

3. LE SOLAIRE

3.2 Les caractéristiques du solaire photovoltaïque

- L'objectif est la production d'électricité
- En site isolé, il est intéressant de consommer directement l'énergie produite mais en présence d'un réseau électrique les panneaux sont utilisés essentiellement pour la revente d'électricité. La rentabilité des projets est accrue grâce au tarif de rachat (à noter cependant une baisse du tarif de rachat et une révision trimestrielle)
- L'association PV CYCLE a été créée en 2007 dans le but de mettre en application le recyclage des déchets de panneaux photovoltaïques en fin de vie
- Potentiel pour l'opération : Toutes les surfaces sont envisageables mais implique une réflexion en amont sur l'orientation et l'inclinaison des toitures. L'implantation optimale : inclinaison de 35°, orienté Sud

3.3 Les caractéristiques du solaire thermique

- L'objectif est la production d'eau chaude sanitaire
- Les bâtiments ayant de fortes consommations d'eau chaude sont particulièrement adaptés pour ce type de technologie : piscine, hôpitaux, maisons de retraite, logements collectifs, ...
- Potentiel pour l'opération: application pour la production d'eau chaude des logements collectifs, voir des équipements selon les besoins

3. LE SOLAIRE

3.4 Les technologies adaptées aux espaces publics

- L'éolien et le photovoltaïque peuvent être utilisés (seul ou en combiné) sur les équipements d'espaces publics, et notamment sur les mâts d'éclairage public.
- Ils posent cependant deux problématiques :
 - Dans le cas d'un fonctionnement en autonomie, il est nécessaire de stocker l'énergie d'où la présence de batteries, qui restent des équipements fortement polluants. Cette technologie est donc à privilégier en l'absence de réseau électrique pour les sites isolés. La combinaison éolien et photovoltaïque permet d'optimiser l'autonomie.
 - Si le réseau électrique est présent, l'électricité produite peut être réinjectée sur le réseau, mais se pose le problème de complexité de raccordements électriques à réaliser au niveau de l'ensemble des candélabres. L'équilibre technique / financier / intérêt environnemental n'est pas évident.

→ En présence d'un réseau électrique, l'utilisation de l'éolien et du photovoltaïque est à privilégier sur des équipements plus conséquents : intégration à des parkings couverts ou abribus par exemple



Exemple de mâts d'éclairage public intégrant éoliennes et panneaux photovoltaïques



Exemple de panneaux photovoltaïques intégrés en ombrières de parking

4. LE BOIS ÉNERGIE

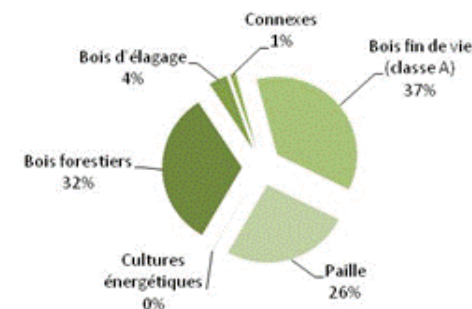
4.1 Les ressources

- Plusieurs types de combustibles : bois bûche, granulés, plaquettes forestières, bocagères ou issus de bois déchets.
- La ressource en biomasse est présente en Ile-de-France est estimée :
 - A 860 000 tonnes à horizon 2015/2020
 - A près de 2 000 000 tonnes à horizon 2030/2050, avec une structuration de l'ensemble des filières
- Ressource partiellement exploitée et disponible.

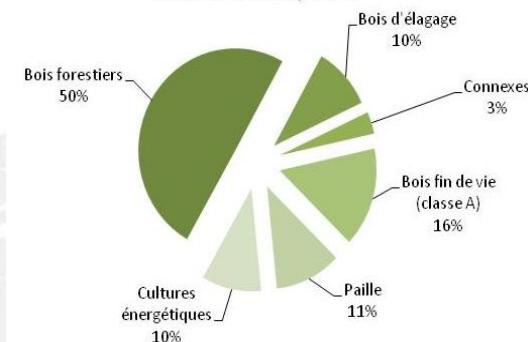
4.2 Les caractéristiques d'un projet bois énergie

- Le bois énergie a deux applications :
 - Chaudière bois dédiée ou individuelle, à l'échelle d'un bâtiment ou d'un logement individuel :
 - Nécessité de ménager des voies de circulations adaptées aux modes de livraisons
 - Exemple d'une chaudière granulés pour un petit équipement : chaufferie granulés, puissance 50 kW, consommation annuelle d'environ 20 tonnes / an
 - Chaufferie bois centralisée avec réseau de chaleur pour un ensemble de bâtiments:
 - Nécessité d'une réserve foncière pour l'implantation d'une chaufferie, d'un espace de stockage et d'une aire de manœuvre
 - Exemple d'une petit réseau de chaleur : chaufferie bois plaquette, puissance 800 kW, consommation annuelle de 700 à 900 tonnes de bois/ an

Les ressources biomasse disponibles à horizon 2015/2020



Les ressources biomasse disponibles à horizon 2030/2050



5. RÉSEAUX DE CHALEUR ET DE FROID

5.1 Réseaux existants

- Il n'y a pas de réseaux de chaleur ou de froid existants sur le site

5.2 Vers la création d'un réseau de froid pour le site ?

- Les besoins en froid sont trop faibles dans la zone pour justifier ce projet. De plus, une conception bioclimatique des locaux peut permettre de se passer de système actif de refroidissement.

5.3 Vers la création d'un réseau de chaleur pour le site ?

- Quelques remarques concernant la création d'un réseau de chaleur :
 - Des consommateurs importants à faible intermittence doivent permettre de structurer le réseau (type hôpital, piscine, maison de retraite, grand ensemble de logements collectifs...)
 - Pour permettre une rentabilité technico-économique, la densité thermique (rapport entre besoins en chaleur / longueur du réseau) doit être supérieure à 1,5 MWh/mL
 - Nécessité d'anticiper les travaux pour limiter les attentes et une réserve de puissance qui génèrerait un surdimensionnement du réseau et un mauvais rendement des installations
 - Nécessite d'une réserve foncière pour l'implantation d'un équipement de production centralisé voire d'un espace de stockage et d'une aire de manœuvre dans le cas d'une chaufferie bois énergie
- En première estimation, la longueur de réseau nécessaire pour desservir l'ensemble des îlots est de l'ordre de 2 500 mL, soit une densité thermique de 1,7 MWh/mL
 - Le ratio est très légèrement supérieur à 1,5 MWh/mL. La solution réseau de chaleur peut être étudiée plus précisément afin d'évaluer la pré-faisabilité technico-économique



3. Définitions des scénarios énergétiques

3.1 EVOLUTIVITÉ DES SOLUTIONS TECHNIQUES

Un critère important dans le choix énergétique est également l'évolutivité possible, c'est-à-dire la possibilité et la facilité à changer d'énergie dans l'avenir.

En termes techniques, cela implique :

- Un système de distribution hydraulique centralisé pour le chauffage
 - A préférer à des solutions de type radiateurs électriques indépendants, car la source de production de chaleur peut être changée (chaudière gaz vers chaudière bois par exemple)
- Un circuit de type basse température pour le chauffage
 - Qui facilite le passage aux productions de chaleur basse énergie (géothermie par exemple)
- Une accessibilité du local chaufferie et place disponible dans le local
 - Cela facilite dans un premier temps l'entretien et la maintenance des équipements
 - Cela permet aussi également d'envisager un changement d'énergie voire l'implantation d'un silos de stockage pour une chaudière bois plaquette ou granulés

3.2 SCENARIOS ÉNERGÉTIQUES

- Propositions de desserte énergétique :
 - Référence (**Scénario 0**) :
 - Chaudière gaz à condensation et solaire thermique pour les logements
 - Alternatifs :
 - Géothermie : Le nombre de forage sera à déterminer selon le taux de couverture souhaité, avec ou non présence d'un appoint gaz. D'autre part, plusieurs solutions techniques sont envisageables : Production centralisée pour l'ensemble du secteur, boucle d'eau chaude par îlot ou par bâtiment.

Deux types de géothermie possible :

- *Géothermie basse énergie (nappe du Dogger 70 à 90°C) : Installation classé ICPE, procédure longue. Nécessite un forage d'une profondeur de 1600 à 1800 m sous la forme d'un doublet : 1 pour la production et 1 pour la réinjection. Coût d'environ 10 à 12 million d'€, intéressant à partir de 20 à 30 GWh de consommation. Nécessite une surface d'environ 5000 à 7500 m².*

→ Besoins en chaleur sur la zone concernée trop faible : un scénario avec cette ressource sera étudié en cas de raccordement de bâtiments consommateurs au Mont d'Est (permettant de multiplier par 4 au moins les besoins)

3.2 SCENARIOS ÉNERGÉTIQUES

- Propositions de desserte énergétique :

- Alternatifs :

- Géothermie (Scénario 1) :

- *Géothermie très basse énergie (nappe éocène moyen et inférieur, 10 à 15°C) : Nécessite de nombreux forages d'une profondeur de 30 à 50m. Le débit pompable de la nappe impacte le nombre de forage et donc la possibilité de réalisation d'un réseau de chaleur alimentant le quartier ou seulement les îlots. Le résultat du forage pour le projet du collège serait une donnée nécessaire pour une étude .*

L'eau serait utilisée directement pour le rafraîchissement des locaux en été, avec la mise en place d'une PAC en hiver. Au vu de la forte densité et de la ressource géothermique limitée, nous porterons l'étude sur les PAC à absorption gaz, qui demande deux fois moins de forage que les PAC électriques pour un même besoin de chaleur

- Bois énergie :

- *réseau de chaleur avec chaufferie bois type plaquettes (Scénario 2)*
- *chaufferie bois par îlot ou par bâtiment, (granulés ou plaquettes selon les puissances nécessaires) (Scénario 3)*

La mise en place d'un réseau de chaleur (RDC) « vertueux » (à faible émission de gaz à effet de serre) donne un « droit à consommer » supplémentaire de 10 à 20%. C'est-à-dire que pour une consommation identique et un réseau de chaleur faiblement émissif, les bâtiments auront le label HPE ou THPE.

3.2 SCENARIOS ÉNERGÉTIQUES

- Propositions de desserte énergétique :
 - Alternatifs :
 - Cogénération gaz par ilots (Scénario 4) :
 - *Système de production combiné de chaleur et d'électricité par immeuble, avec revente de l'électricité produite ou autoconsommation de celle-ci pour les usages collectifs des immeubles (équipements en chaufferie, éclairage, ascenseurs, etc.).*
 - PAC Gaz à absorption sur air extrait ou sur eaux usées (Scénario5) :
 - *Système de production de chaleur par immeuble, avec en base une PAC Gaz à absorption, le complément de chaleur étant fournis par des chaudières à condensation.*
Les PAC ont besoin d'une source extérieure d'énergie (air extrait, sondes géothermiques ou eaux usées)
 - **Pour aider le maitre d'Ouvrage à choisir entre ces différents scénarii, il a été réalisé une note de cadrage, en liaison avec la maitrise d'œuvre des espaces publics, présentant les scénarios en fonction de divers critères (environnementale, sociale, économiques, impact sur le phasage du projet, etc.).**

3.3 NOTE DE CADRAGE – CHOIX SCÉNARIOS

- Choix des scénarii à approfondir.

Il n'est pas nécessaire d'acter définitivement un scénario de desserte énergétique pour le projet de Maille Horizon Nord pour le dossier de création de l'opération ou pour l'étude d'impact.

Dans le cadre de l'étude d'impact il est important de justifier :

- Les scénarii envisagés du point de vue environnemental
- les scénarii écartés parce qu'ils sont considérés comme non compatibles avec l'ambition environnementale :
 - Chauffage électrique direct,
 - Fioul,
 - Gaz,
 - Charbon
- Les scénarii écartés parce qu'ils ne sont pas compatibles avec le contexte du projet :
 - Géothermie profonde (pas assez de besoin de chaleur)
 - Chaudières bois énergie à l'îlot – problématique de livraison et stockage sur un quartier dense où les circulations automobiles sont volontairement contraintes.

3.3 NOTE DE CADRAGE – CHOIX SCÉNARIOS

- ARBITRAGES pour le projet :

Pour mener à bien les phases suivantes du travail de l'équipe de MOE, et s'inscrire dans les délais de livraisons des aménagements et opérations, le seul choix nécessaire dans l'immédiat est celui de la mise en place d'un réseau de chaleur, ou non.

Au final, l'arbitrage porte sur 2 options aujourd'hui :

- Un scénario centralisé (bois énergie) qui semble le plus intéressant d'un point de vue environnemental, mais qui nécessitera des études complémentaires (étude de faisabilité, étude de mise en œuvre du RDC) pour déterminer l'emplacement chaufferie, dimensionnement, puissance, distribution, etc.), la réalisation d'un réseau sous les espaces publics, éventuellement la mise en place d'une DSP, etc.
- les autres scénarios (décentralisés) qui pourront faire l'objet de prescriptions par lots, qui présentent l'avantage d'une souplesse selon la nature de chaque opération (activité, logement, équipement scolaire, etc.)

Si la ville souhaite orienter le projet vers la mise en place d'un réseau de chaleur, il faut qu'elle décide des bâtiments qui seront desservis et qu'elle arrête le phasage dans le temps du programme associé.

Sinon, pour l'option n°2 (solutions décentralisées), la question énergie peut-être reportée à l'écriture de cahier de prescriptions pour chaque lot.

3.3 NOTE DE CADRAGE – CHOIX SCÉNARIOS

- Tableau de comparaison des scénarios
 - Notation :

Appréciation			
Très bien	Bien	Moyen	Mauvais
+++	++	+	-

3.4 SCENARIOS ÉNERGÉTIQUES

- Les 4 scénarios retenus sont :
 - Scénario 0 : gaz + solaire
 - Scénario 1 : géothermie sur nappe (PAC à absorption gaz par îlot)
 - Scénario 2 : réseau de chaleur bois énergie
 - Scénario 4 : cogénération gaz (production électricité + chaleur) par îlot



4. PRÉSENTATION TECHNIQUE DES SCÉNARIOS

4 GÉNÉRALITÉS ÉNERGÉTIQUES

Afin de comparer les énergies entre elles, il convient de rappeler quelques données générales :

- Pour les énergies fossiles
 - Risque d'envolée des coûts
 - Emissions de CO2 importante
- Pour l'électricité :
 - Coefficient de conversion énergie finale/primaire de 2,58
 - Ce coefficient prend en compte l'énergie nécessaire à la production de l'énergie finalement consommée (il est de 1 pour le gaz par exemple). L'électricité pénalise donc les projets, notamment en termes de consommations fixées par la réglementation thermique qui sont en énergie primaire.
 - Risque d'envolée des coûts
 - Production de déchets radioactifs
- Pour les énergies renouvelables (solaire, bois, géothermie)
 - Réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)
 - Indépendance énergétique vis-à-vis des ressources fossiles
 - Budget énergie davantage prévisible sur les 20 années à venir
 - Participation à l'économie locale (selon filières)

4 CRITÈRES D'ANALYSE

- Aspect financier: Analyse en coût global annuel

Le prix de revient de l'énergie se décompose en 4 postes de dépenses annuelles :

- P1 : facture de combustible annuelle (gaz, bois, électricité...)
- P2 : entretien et renouvellement du petit matériel
- P3 : renouvellement du gros matériel
- P4 : annuité d'emprunt sur 20 ans (investissement)


- Aspect environnemental:

Plusieurs critères pris en compte:

- Impact sur les ressources: Consommation d'énergie primaire non renouvelable
- Impact climat: émissions de CO2 (gaz à effet de serre)
- Impact sur la qualité de l'air: émissions de SO2 (dioxyde de soufre), Nox (oxydes d'azote), poussières
- Déchets radioactifs générés


4.0 SOLUTION GAZ + SOLAIRE

- Equipements de chauffage :

Chaudière gaz collective	
Principe	Une chaudière gaz à condensation alimente l'ensemble d'un bâtiment depuis un local chaufferie
Contraintes techniques / administratives	Local chaufferie Réseaux de distribution eau chaude Evacuation des gaz brulés à prévoir Compatibilité avec ECS solaire possible
	
Avantages	Inconvénients
Mutualisation des couts de maintenance de chauffage + meilleur entretien Hauts rendements de production Evolutivité possible pour changement d'énergie , favorisée par la basse température	Energie fossile (évolution des prix, émissions de CO2)
Opportunités sur le secteur	
Solution opportune en couplage avec de l'ECS thermique pour du logement collectif Solution opportune en tertiaire/équipements/commerces	

4.0 SOLUTION GAZ + SOLAIRE

- Equipements de production d'eau chaude sanitaire:

Solaire thermique collectif	
Principe	Préchauffer l'Eau Chaude Sanitaire par des capteurs solaires pour un immeuble collectif avec ballons centralisés
Contraintes techniques / administratives	<p>Nécessite un minimum de besoins en période estivale</p> <p>Nécessite un appoint (électrique ou gaz, gaz retenu)</p> <p>Implantation préférentielle des capteurs au sud avec inclinaison de 45°, possibilité de pose en façade</p> <p>Possibilité de subventions ADEME (Fonds chaleur)</p>
	
Avantages	Inconvénients
Energie renouvelable (maitrise des coûts et de l'impact environnemental)	Investissement important
Réduction des consommations et des coûts	Maintenance régulière indispensable
Fonctionnement annuel (couverture moyenne de 45% des besoins ECS)	
Opportunités sur l'opération	
<p>Solution opportune pour les logements collectifs</p> <p>Solution opportune pour les locaux tertiaires ayant des besoins d'ECS élevés et constants (hôtel) mais pas pour l'école</p> <p>Besoins en froid : couvert par des systèmes par bâtiment (Groupe Froid électrique)</p> <p>Autres tertiaires (bureaux, activités, etc.) : systèmes décentralisés électriques</p>	

4.0 SOLUTION GAZ + SOLAIRE

- Bilan économique et environnemental :

Scénario 1 : Gaz + solaire	
Investissement	5 006 000€ TTC
Subventions mobilisables	1 472 000€ TTC
Consommations combustible	5 721 000kWhEF/an
Consommations élec (pour ECS tertiaire, Clim, VMC, etc.)	2 606 993kWhEF/an

P1 chaleur	335 600 € TTC/an
P1 autre élec (ECS, clim, VMC, etc.)	273 734 € TTC/an
P2	65 006 € TTC/an
P3	125 150 € TTC/an
P4 hors subventions	250 300 € TTC/an
P4 avec subventions	176 700 € TTC/an
Total hors subventions	1 049 790 € TTC/an
Total avec subventions	976 190 € TTC/an

A besoin d'énergie constant, cette solution permet une diminution des consommation d'énergie : Les installations solaires thermiques, si elles sont installées sur l'ensemble des bâtiments de logements/hébergements, pourraient produire 940 000 kWh/an, soit 19% des besoins de chaleur.

Performance économique (Prix de la chaleur) *	0,115 € TTC/kWhutile
Consommation énergie primaire **	12 447 000 kWhEP/an
Consommation énergie primaire non renouvelable	11 572 657 kWhEP/an
Emissions de CO2	1 443 téqCO2 / an
Emissions de SO2	834 kg/an
Emissions de Nox	1 676 kg/an
Masse de déchets radioactifs	156 kg/an
Emissions de cendres, poussières	Marginal

* : kWh utile : besoins de chaleur (indépendant des équipements de production de chaleur

** : 5 usages réglementaires : Chauffage, ECS, Climatisation, Ventilation, Auxiliaires

4.1 SOLUTION PAC GAZ GÉOTHERMIQUE

Pompe à chaleur géothermique sur sondes verticales 1/2	
Principe	En mode chauffage, soutirer les calories du sol par circulation d'un fluide dans un réseau et les restituer, via un cycle thermodynamique, à l'air ou l'eau desservant le bâtiment et inversement en mode climatisation.
Contraintes techniques / administratives	<p>Intéressant si besoins de chauffage et de climatisation</p> <p>Nécessite une solution indépendante de production d'ECS</p> <p>Emetteurs basse température nécessaires pour le chauffage</p> <p>Forages tests à réaliser</p> <p>Incertitudes quant au potentiel sur la ZAC</p> <p>Possibilité de subventions et dispositif d'assurance</p>

4.1 SOLUTION PAC GAZ GÉOTHERMIQUE

Avantages	Inconvénients
<p>Possibilité de traiter le bâtiment par l'air ou par émetteurs eau chaude basse température</p> <p>Mutualisation des systèmes de chauffage et de climatisation</p> <p>Coefficient de performance élevé</p> <p>Possibilité de rafraichir sans solliciter le cycle thermodynamique par simple circulation du fluide calorporteur (faible consommation)</p> <p>Evolutivité possible pour changement d'énergie , favorisée par la basse température</p>	<p>Utilisation de fluide frigorigène (amoniac) dangereux pour l'honne, nocif pour l'environnement mais pas dans les quantités présentes dans les équipements.</p> <p>Investissement important</p> <p>Risque d'appauvrissement thermique de la source</p>
Opportunités sur la ZAC	
<p>Solution opportune pour le chauffage et rafraichissement pour les commerces et bureaux à l'échelle du bâtiment ou de l'îlot</p> <p>Solution envisageable pour les logements à l'échelle du bâtiment ou de l'îlot - mieux adapté au neuf du fait de la nécessité d'émetteurs basse température</p> <p>Besoins en froid : couvert par des systèmes par bâtiment (Groupe Froid électrique)</p> <p>Autres tertiaires (bureaux, activités, etc.) : systèmes décentralisés électriques</p>	

4.1 SOLUTION PAC GAZ GÉOTHERMIQUE

- Bilan économique et environnemental :

Scénario 1 : PAC GAZ géothermique

Investissement	5 843 000 € TTC
Subventions mobilisables	421 000 € TTC
Consommations combustible	4 470 000 kWhEF/an
Consommations élec (pour ECS tertiaire, Clim, VMC, etc.)	2 424 534 kWhEF/an

P1 chaleur	321 300 € TTC/an
P1 autre élec (ECS, clim, VMC, etc.)	254 576 € TTC/an
P2	83 090 € TTC/an
P3	93 401 € TTC/an
P4 hors subventions	292 150 € TTC/an
P4 avec subventions	271 100 € TTC/an
Total hors subventions	1 044 517 € TTC/an
Total avec subventions	1 023 467 € TTC/an

A besoin d'énergie constant, cette solution permet une diminution des consommation d'énergie : Les PAC Gaz, , si elles sont installées sur l'ensemble des bâtiments de logements/hébergements, pourraient produire 2 340 000 kWh/an, soit 38 % des besoins de chaleur (sans compter les calories récupérables pour le rafraîchissement des locaux).

Performance économique (Prix de la chaleur) *	0,126 € TTC/kWhutile
Consommation énergie primaire **	11 730 300 kWhEP/an
Consommation énergie primaire non renouvelable	10 666 898 kWhEP/an
Emissions de CO2	1 378 téqCO2 / an
Emissions de SO2	776 kg/an
Emissions de Nox	1 585 kg/an
Masse de déchets radioactifs	145 kg/an
Emissions de cendres, poussières	Marginal

* : kWh utile : besoins de chaleur (indépendant des équipements de production de chaleur)

** : 5 usages réglementaires : Chauffage, ECS, Climatisation, Ventilation, Auxiliaires

4.2 SOLUTION RESEAU DE CHALEUR

Réseau de chaleur bois	
<p>Principe</p>	<p>Desservir un ensemble de bâtiment en chaleur via un réseau enterré : En 1^{ère} estimation, il suffirait de 1 300 mL, plus si des bâtiments proches du secteur seraient raccordés.</p> <p>La production de chaleur se fait par une chaufferie centrale de grande puissance (~ 1500 kW bois et 3 500 kW gaz).</p> <p>Pour un fonctionnement optimal, la chaudière bois (plaquettes forestières ou issues de l'industrie du bois) permet de couvrir environ 85% des besoins de chaleur et le reste est couvert par un système d'appoint (gaz, fioul, etc.) : gaz retenu</p>
<p>Contraintes techniques / administratives</p>	<p>Nécessite un silo de stockage du combustible</p> <p>Système de production d'appoint nécessaire</p> <p>Montage de projet à appréhender et à porter par la collectivité</p> <p>Le phasage des travaux de réseau et de construction des bâtiments doivent concorder pour assurer une continuité de service et ne pas nécessiter de solutions provisoires</p> <p>Densité prévue : 4,2 MWh/mL (très importante) >> Densité thermique minimale de 1,5 MWh/mL : pour viabilité et subventions de l'ADEME</p>



4.2 SOLUTION RESEAU DE CHALEUR

- Généralités :

Réseau de chaleur bois	
Avantages	Inconvénients
Energie renouvelable (maitrise des coûts et de l'impact environnemental)	Pilotage du projet : la collectivité Investissement important, porté par la collectivité ou un tiers (contrat type DSP)
Réduction des consommations et des coûts – chaufferie et réseau subventionnable	Entretien/maintenance complexe
Indépendance énergétique	Surface chaufferie nécessaire importante : ~ 600m² , soit 1% des espaces public du secteur MHN
Participation à l'économie locale (approvisionnement bois et maintenance)	Facturation et gestion des abonnés avec vente de chaleur (délégué dans le cas d'une DSP)
Evolutivité possible pour changement d'énergie	Consommation d'énergie plus importante : 10% de la chaleur produite est perdue par le réseau de chaleur.
Forte visibilité de l'action de la collectivité	
Opportunités sur le secteur	
Solution très opportune pour le chauffage et l'ECS des logements, bureaux et commerces. La densité énergétique estimée en première approche est très intéressante, même pour des constructions de type RT 2012 (faiblement consommatrice). Raccordement possible d'autres bâtiments adjacent au secteur.	
Autres tertiaires (bureaux, activités, etc.) : systèmes de production d'ECS décentralisés électriques	
Besoins en froid : couvert par des systèmes par bâtiment (Groupe Froid électrique)	

4.2 SOLUTION RESEAU DE CHALEUR

- Bilan économique et environnemental :

Scénario 2 : Réseau de chaleur urbain alimenté au bois

Investissement	3 624 000 € TTC
Subventions mobilisables	799 000 € TTC
Consommation bois + gaz	9 256 000 kWhEP/an
Consommations élec (pour ECS tertiaire, Clim, VMC, etc.)	2 692 993 kWhEP/an

P1 chaleur	332 300 € TTC/an
P1 autre élec (ECS, clim, VMC, etc.)	282 764 € TTC/an
P2	72 956 € TTC/an
P3	75 281 € TTC/an
P4 hors subventions	232 162 € TTC/an
P4 avec subventions	168 014 € TTC/an
Total hors subventions	995 463 € TTC/an
Total avec subventions	931 315 € TTC/an

Cette solution permet une importante intégration des énergies renouvelable : ainsi 13% de l'électricité est d'origine renouvelable, et 85% de la chaleur, soit 65% à l'échelle des consommations d'énergies estimée du secteur MHN.

Performance économique	0,106 € TTC/kWhutile
Consommation énergie primaire	16 203 900 kWhEP/an
Consommation énergie primaire non renouvelable	7 155 175 kWhEP/an
Emissions de CO2	585 téqCO2 / an
Emissions de SO2	5 324 kg/an
Emissions de Nox	2 301 kg/an
Masse de déchets radioactifs	162 kg/an
Emissions de cendres, poussières	Marginal

* : kWh utile : besoins de chaleur (indépendant des équipements de production de chaleur)

** : 5 usages réglementaires : Chauffage, ECS, Climatisation, Ventilation, Auxiliaires

4.3 MICRO-COGÉNÉRATION GAZ

Micro-cogénération gaz – îlots de logements	
<p>Système de production de chaleur et d'électricité décentralisé (c'est-à-dire par îlot ou par bâtiment)</p> <p>Un moteur à explosion fonctionnant au gaz produit de l'électricité (rendement électrique : 35%). Les pertes (chaleur) sont récupérées (rendement thermique : 55%). Une chaudière gaz à condensation fournit le reste des besoins en chaleur des locaux.</p>	
Avantages	Inconvénients
<p>Production d'électricité sur le lieu de consommation, utilisation majoritairement en autoconsommation (+ revente surplus)</p> <p>Réduction des consommations d'électricité des parties communes et des charges des habitants</p> <p>Equipements en chaufferie seulement, encombrement équivalent à une chaudière classique</p> <p>Production d'électricité plus de la moitié de l'année, majoritairement en période de forte demande nationale d'électricité</p>	<p>Pas de production d'énergie renouvelable</p> <p>Pas de bonification lors de la revente de l'électricité (coût de rachat égal à celui d'achat HT)</p> <p>Coût abonnement pour contrat rachat électricité : 80€/an</p> <p>Rendement des installations plus faible qu'une chaudière classique (consommation de gaz supérieure)</p> <p>Maintenance complexe</p>
Opportunités sur le secteur	
<p>Solution très opportune pour le chauffage et l'ECS des logements ou de l'hôtel, beaucoup moins pour les bureaux et commerces ; besoins en hiver seulement et moins régulier, difficulté de réaliser de l'autoconsommations.</p>	
<p>Bâtiments tertiaires (bureaux, activités, etc.) : Système de chauffage classique (chaudière gaz condensation) pour le chauffage, systèmes de production d'ECS décentralisés électriques</p>	
<p>Besoins en froid : couvert par des systèmes par bâtiment/ilôts (groupe froid électrique)</p>	

4.3 MICRO-COGÉNÉRATION GAZ

- Bilan économique et environnemental :

Scénario 3 : Micro-cogénération gaz

Investissement	4 124 000€ TTC
Subventions mobilisables	0€ TTC
Consommations combustible	8 431 000kWhEF/an
Consommations élec (pour ECS tertiaire, Clim, VMC, etc.)	2 606 993kWhEF/an
dont autoconsommation (pruite par cogénération gaz)	534 129kWhEF/an
pourcentage d'autoconsommation (/ à consommation d'électricité)	20%

P1 chaleur	421 900 € TTC/an
P1 autre élec (ECS, clim, VMC, etc.)	196 118 € TTC/an
P2	100 514 € TTC/an
P3	99 755 € TTC/an
P4 hors subventions	213 100 € TTC/an
P4 avec subventions	213 100 € TTC/an
Total hors subventions	1 031 386 € TTC/an
Total avec subventions	1 031 386 € TTC/an

A besoin d'énergie constant, cette solution permet une diminution des consommation d'énergie : ~ 940 000 kWh/an, soit 19% des besoins de chaleur.

Performance économique (Prix de la chaleur)	0,139 € TTC/kWhutile
Consommation énergie primaire	13 779 000 kWhEP/an
Consommation énergie primaire non renouvelable	13 083 750 kWhEP/an
Emissions de CO2	2 056 t éqCO2 / an
Emissions de SO2	663 kg/an
Emissions de Nox	1 993 kg/an
Masse de déchets radioactifs	124 kg/an
Emissions de cendres, poussières	Marginal

* : kWh utile : besoins de chaleur (indépendant des équipements de production de chaleur)

** : 5 usages réglementaires : Chauffage, ECS, Climatisation, Ventilation, Auxiliaires



5. COMPARAISON DES SCÉNARIOS



COMPARAISON DES SCENARIOS :

SYNTHÈSE DES SOLUTIONS

	Scénario 0	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
	Gaz + solaire	Géothermie basse Temp. + PAC gaz	Raccordement réseau de chaleur bois	Micro-cogénération Gaz
Echelle	Bâtiment ou îlot	Bâtiment ou îlot	Secteur MHN + extension autres bâtiments	Bâtiment ou îlot
Chauffage	Chaudière gaz à condensation par bâtiment	PAC Gaz + appoint chaudière condensation	Réseau de chaleur : Sous-station par bâtiments	Micro-cogénération au gaz pour logts et hôtel + appoint chaudière gaz
Climatisation	Groupe Froid par bâtiment	Refroidissement direct par eau de nappe (Géo-cooling + appoint Groupe Froid)	Groupe Froid par bâtiment	Groupe Froid par bâtiment
ECS Logements et hôtel	Installation solaire thermique collectif	idem chauffage	idem chauffage	idem chauffage
ECS Tertiaire	Electrique décentralisé	Electrique décentralisé	Electrique décentralisé	Electrique décentralisé
Contrainte spatiale	Par bâtiment : 25 à 50 m ² (y compris ballon ECS solaire) En toiture : Entre 50 et 200m ² de panneaux par îlot (possibilité de pose en façade également)	Nombreux forages à réaliser : 2/ par îlot en moyenne	Chaufferie centrale : Terrain de 600m ² environ (chaufferie + silo + place pour camions) + réseau de chaleur sur zone de 1 300 mL En sous-station : espace nécessaire de 15/25 m ² selon la puissance	Aucune : emprise équivalente entre chaufferie classique et Micro-cogénération
Investissement total (€ TTC)	5 006 000 €	5 843 000 €	3 624 000 €	4 124 000 €



COMPARAISON DES SCENARIOS :

SYNTHÈSE EN COÛT GLOBAL

	Scénario 0	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
	Gaz + solaire	Géothermie basse temp.+ PAC gaz	Raccordement réseau de chaleur Bois	Micro-cogénération Gaz
Investissement total (€ TTC)	5 006 000 €	5 843 000 €	3 624 000 €	4 124 000 €
P1 chaleur (€ TTC /an)	335 600 €	321 300 €	332 300 €	456 100 €
P1 autres (€ TTC /an)	273 734 €	254 576 €	282 764 €	217 651 €
P2 (€ TTC/an)	65 006 €	83 090 €	72 956 €	92 083 €
P3 (€ TTC/an)	125 150 €	93 401 €	75 281 €	95 435 €
P4 hors subventions (€ TTC/an)	250 300 €	292 150 €	232 162 €	206 200 €
P4 avec subventions (€ TTC/an)	176 700 €	271 100 €	168 014 €	206 200 €
Coût global hors subventions (TTC/an)	1 049 790 €	1 044 517 €	995 463 €	1 067 469 €
Coût global avec subventions (TTC/an)	976 190 €	1 023 467 €	931 315 €	1 067 469 €

- Le coût global permet d'apprécier l'ensemble des coûts liés aux différents postes énergétiques (consommations, entretien, renouvellement, investissements)



COMPARAISON DES SCENARIOS :

SYNTHÈSE DES PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES

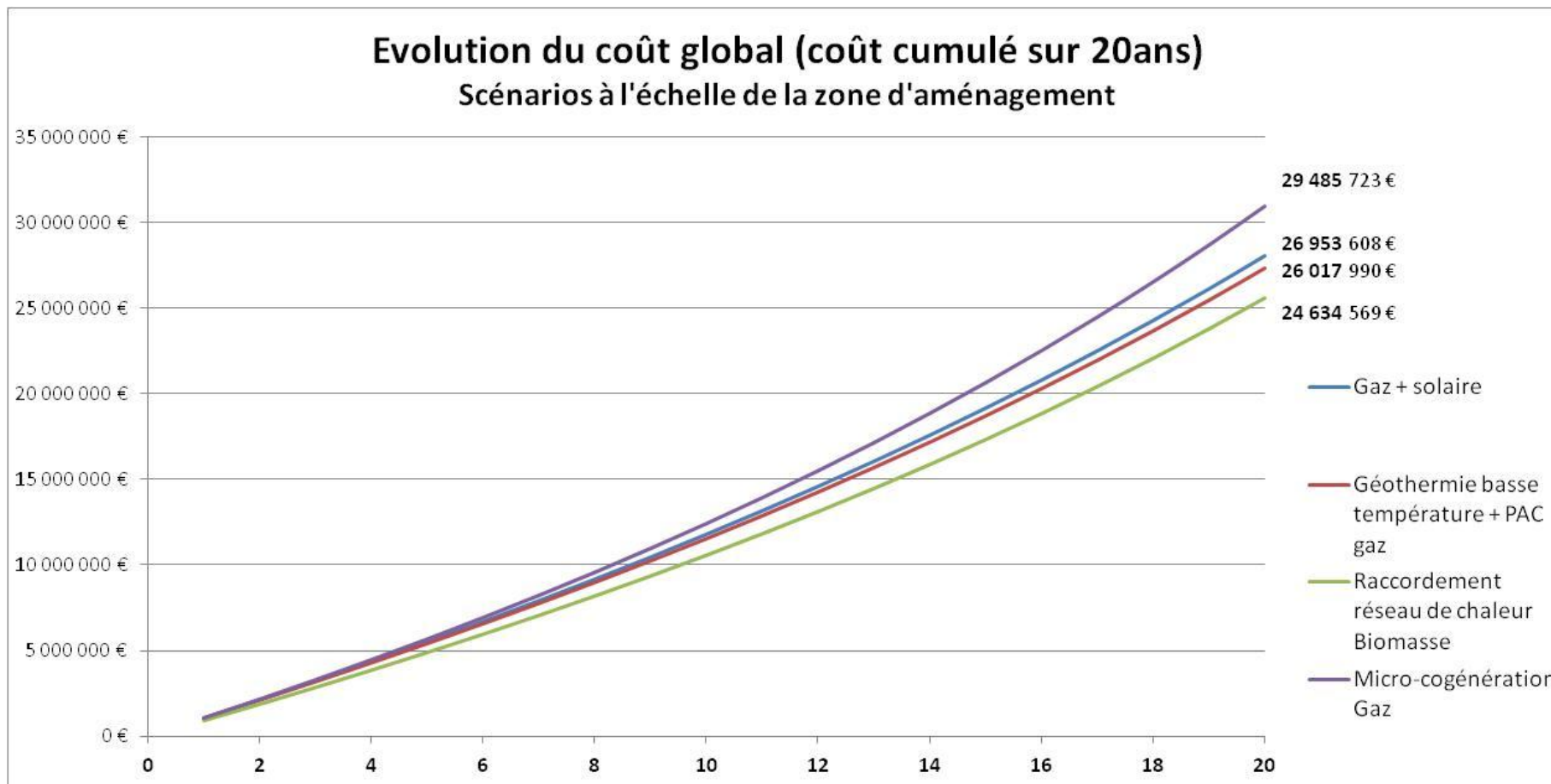
	Scénario 0	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
	Gaz + solaire	Géothermie basse Temp. + PAC gaz	Raccordement réseau de chaleur Bois	Micro-cogénération Gaz
Consommation énergie primaire (kWhEP)	12 447 000	11 730 300	16 203 900	13 779 000
Consommation énergie primaire non renouvelable (kWhEP)	11 572 657	10 666 898	7 155 175	13 083 750
Emissions de CO2 (tonnes)	1 443	1 378	585	2 056
Emissions de SO2 (kg)	834	776	5 324	663
Emissions de Nox (kg)	1 676	1 585	2 301	1 993
Masse de déchets radioactifs (kg)	156	145	162	124
Emissions de cendres, poussières	Marginal	Marginal	Significatif	Marginal

- Ce tableau compare les différents indicateurs permettant d'apprécier les performances environnementales des choix énergétiques



COMPARAISON DES SCENARIOS :

PRISE EN COMPTE DE L'ÉVOLUTION DU COÛT DE L'ÉNERGIE



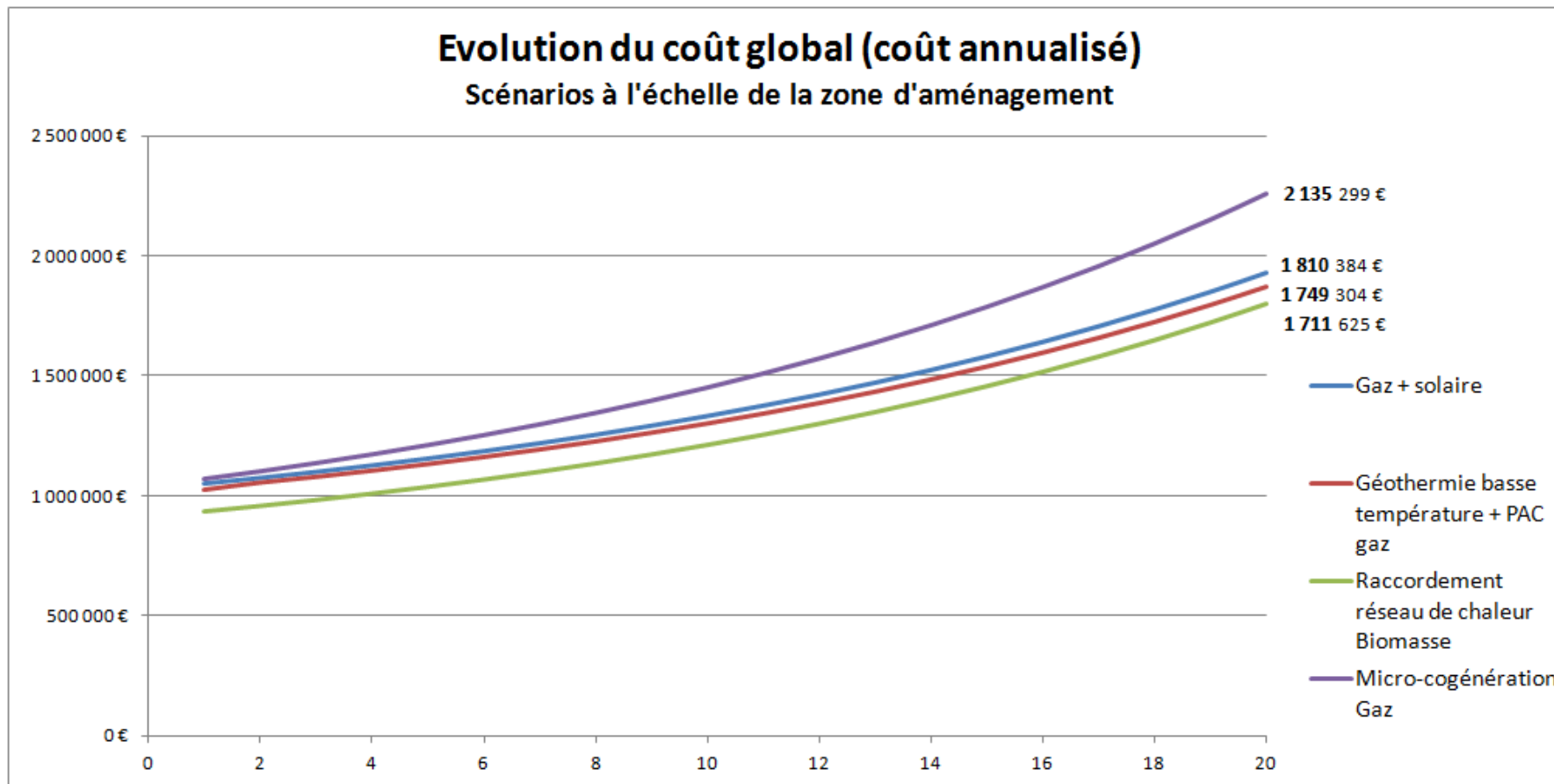
Evolution du prix : du gaz : +7%/an ; du bois : +3%/an ; de l'électricité : +5%/an

Sur 20 ans, la différence cumulé du coût est de 20% (~5 000 €HT) entre la solution la moins onéreuse (RCU bois) et la plus onéreuse (Cogénération Gaz)



COMPARAISON DES SCENARIOS :

PRISE EN COMPTE DE L'ÉVOLUTION DU COÛT DE L'ÉNERGIE



Evolution du prix : du gaz : +7%/an ; du bois : +3%/an ; de l'électricité : +5%/an

Dans 20 ans, la différence du coût global est de 25% par rapport à la solution la moins onéreuse (RCU bois) et la plus onéreuse (Cogénération Gaz). Les solutions permettant une production d'énergie décentralisée (Panneaux solaires thermiques et PAC géothermiques gaz), couteront quant à elles 2% et 5% plus cher que le bois, pour une production d'origine renouvelable beaucoup plus faible.

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Vos interlocuteurs : Nom : Gaël BERGER
 Fonction : Consultant
 Mail : g.berger@inddigo.com
 Tél. : 01 42 46 85 39

Nom : Stéphanie GAUCHER
Fonction : Consultante
Mail : s.gaucher@inddigo.com
Tél. : 01 44 83 64 56