



Etat des lieux et perspectives de la géothermie profonde dans le département de la Seine-Saint-Denis

(Mémoire final)



Paris-Nord 2 – Immeuble Business Park – Bât. A4
165 rue de la Belle Etoile
95 946 Roissy CDG CEDEX
T : 01.48.63.08.08 – F : 01.48.63.08.89



1 rue Séjourné
94 000 Créteil
T : 01 43 97 93 49 – F : 01 43 97 47 01

SYNTHESE

Dans le contexte environnemental actuel, où le recours aux énergies renouvelables est devenu une nécessité afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre, la géothermie profonde présente d'indéniables intérêts en Ile-de-France. Cette énergie renouvelable est présente sur le territoire francilien avec des caractéristiques géologiques variables selon les zones géographiques et une accessibilité connue. Plus d'une trentaine d'installations en Ile-de-France exploitent cette ressource quotidiennement, permettant ainsi de bénéficier de retours d'expériences significatifs.

C'est pour ces raisons que, dans le cadre du plan de relance de la géothermie soutenu par la région Ile-de-France et l'ADEME, le SIPPAREC a lancé une étude sur le département de la Seine-Saint-Denis. L'objectif de l'étude est de réaliser un état des lieux et de dresser les perspectives de recours à la géothermie profonde sur ce territoire.

Quatre aquifères profonds sont identifiés dans le Bassin de Paris. On distingue de la base du bassin, vers la surface : les Grès du Trias, les Calcaires du Dogger du Jurassique moyen, les Calcaires du Lusitanien du Jurassique supérieur et les sables de l'Albien et du Néocomien du Crétacé inférieur.

Historiquement le Dogger a été choisi pour alimenter les réseaux de chauffage urbain dans le bassin de Paris. Sa température et sa productivité sont compatibles avec des besoins de fortes puissances moyennant un réseau de distribution adapté.

En Seine-Saint-Denis, la température de l'aquifère varie entre 57 °C au niveau de Saint-Denis et 74°C à Tremblay-en-France. Les niveaux de température à l'ouest du département sont faibles. Néanmoins trois opérations existent, deux à la Courneuve, et récemment à la Porte d'Aubervilliers où il sera fait usage de pompes à chaleur.

Dans le département, sur les neuf opérations de géothermie qui ont vu le jour dans les années 80, seules 5 ont subsisté :

<i>Opération</i>	<i>Mise en service</i>	<i>Etat</i>
<i>Aulnay Gros Saule</i>	<i>1984</i>	<i>Arrêt 1989</i>
<i>Aulnay Rose des Vents</i>	<i>1982</i>	<i>Arrêt 1990</i>
<i>Bondy</i>	<i>1984</i>	<i>Arrêt 1990</i>
<i>Clichy sous Bois</i>	<i>1982</i>	<i>En service</i>
<i>La Courneuve Nord</i>	<i>1983</i>	<i>En service</i>
<i>La Courneuve Sud</i>	<i>1982</i>	<i>En service</i>
<i>Le Blanc-Mesnil</i>	<i>1983</i>	<i>En service</i>
<i>Sevran</i>	<i>1983</i>	<i>Arrêt 1990</i>
<i>Tremblay en France</i>	<i>1984</i>	<i>En service</i>

Figure 1 : Opérations géothermiques de la Seine-Saint-Denis

A l'échelle départementale, seulement 16 375 équivalent-logements sont alimentés par une installation géothermique, ce qui représente 7,5% de l'énergie vendue par les réseaux de chaleur en 2008.

Les tableaux ci-dessous montrent les principales caractéristiques (taille, environnement et coûts) des réseaux géothermiques vis-à-vis des réseaux fossiles pour le département de Seine-Saint-Denis :

	Réseaux avec Energies Fossiles (13 réseaux)	Réseaux avec Géothermie (5 réseaux)
Nombre moyen d'Eq-Log raccordés par réseau	5 470	3 275
Longueur moyenne d'un réseau (km)	7,6	3,3
Densité moyenne d'un réseau (Nb Eq-Log / km)	750	1 000

Figure 2 : Comparaison de l'architecture des réseaux

	Gaz Naturel (Référence)	Réseaux Fossiles (15 réseaux)	Réseaux Géothermiques (5 réseaux)
Contenu en CO ₂ (kg CO ₂ /kWh)	0,234	0,242	Moyenne : 0,127
			Avec cogénération : 0,140-0,197
			Sans cogénération : 0,074

Figure 3 : Comparaison environnementale

	France (Enquête AMORCE/SNCU 2008)	Seine-Saint-Denis
Gaz Naturel	66,1 €/HT/MWh	65,6 €/HT/MWh (1 réseau)
Gaz Naturel (avec cogénération)	64,6 €/HT/MWh	60,4 €/HT/MWh (5 réseaux : 1 géothermie, 3 ex- géothermie, 1 fossile)
Géothermie	51,2 €/HT/MWh	47,4 €/HT/MWh (2 réseaux)

Figure 4 : Comparaison économique

Au final, les réseaux géothermiques de Seine-Saint-Denis possèdent d'indéniables atouts : ils permettent de raccorder, en une opération, plusieurs milliers de logements en énergies renouvelables, dans un faible périmètre, avec un coût compétitif pour les usagers et peu sensible à la volatilité des énergies fossiles.

Or dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, l'Etat français souhaite relancer le développement des réseaux de chaleur (et notamment géothermiques) par la mise en place de dispositifs techniques et économiques favorables : Fonds Chaleur de l'ADEME, obligation de réaliser une étude de faisabilité d'un réseau de chaleur pour tout nouvel aménagement, possibilité de prolonger les DSP pour des investissements dans les énergies renouvelables, possibilité de classement des réseaux possédant plus de 50 % d'ENR et prise en compte de leurs spécificité dans la future RT 2012.

Toutes ces avancées réglementaires montrent bien que les réseaux de chaleur utilisant des énergies renouvelables sont appelés à jouer un rôle important en milieu urbain en cours des années à venir. Ce contexte très favorable et les conclusions de l'état de lieux permettent d'envisager une relance de la géothermie profonde dans le département de Seine-Saint-Denis sur des zones ciblées.

Pour cette raison, une méthode de criblage des communes a été mise au point afin de cerner les zones d'adéquations entre la ressource sous-sol et sa valorisation en surface et ainsi proposer la réalisation de nouvelles opérations sur le département de Seine-Saint-Denis.

L'évaluation du potentiel au Dogger a été réalisée avec la carte ci-dessous.

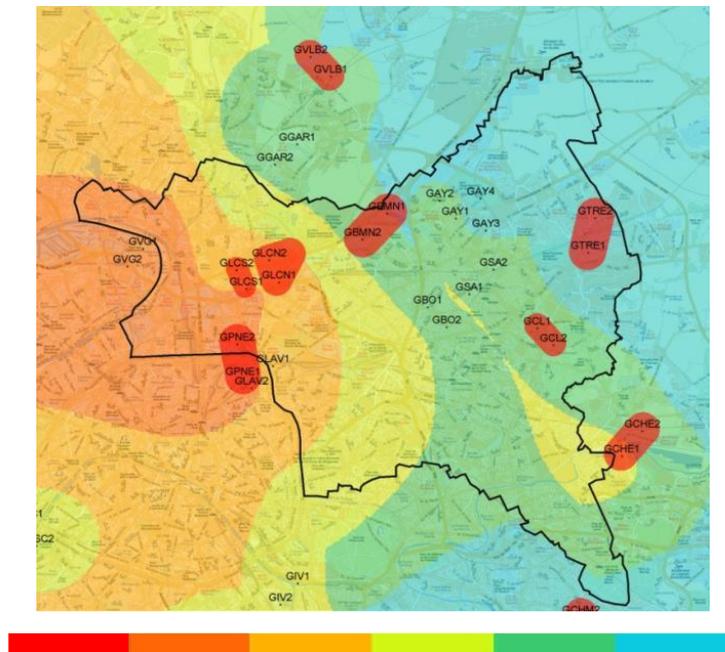


Figure 5 : Carte des potentialités sous-sol (Dogger) de la Seine-Saint-Denis
(Rouge : Exploitation existante, Orange foncé : Potentialité modérée -> Bleu ciel : Excellentes potentialités)

Tandis qu'en surface, plusieurs critères ont été retenus pour déterminer le potentiel :

- Nombre de logements potentiellement raccordables ;
- Nombre de logements utilisant un système d'ECS collective et des émetteurs « Basse Température » ;
- Présence et caractéristiques des réseaux de chaleur existants ;
- Faisabilité administrative ;
- Reserve foncière pour l'emplacement d'un forage ;
- Aménagement du territoire.

Afin de disposer des données les plus fiables possibles, nous avons contacté la majorité des bailleurs sociaux du département afin de connaître les caractéristiques énergétiques de leur patrimoine. Sur l'ensemble de la Seine-Saint-Denis, actuellement près de 70 % du parc social locatif est connu avec plus ou moins de retours suivant les villes

La méthode de criblage a abouti à un classement en 4 groupes :

- Groupe 1 : « **Villes ou groupements de communes où la réalisation d'une opération de géothermie est favorable** » : Toutes ces communes ont fait l'objet d'une étude approfondie.

	Surface	Dogger	Potentiel recensé
Aubervilliers			6 553 Equivalent-logements
Drancy			5 931 Equivalent-logements
Montreuil			6 255 Equivalent-logements
Noisy-le-Sec			5 712 Equivalent-logements
Rosny-sous-Bois			6 498 Equivalent-logements

	Surface	Dogger	Potentiel recensé
Groupement des quartiers de Drancy (Muette) - Blanc-Mesnil (Petit Grosly) - Bobigny (Edouard Vaillant)			6 064 Equivalent-logements
Groupement de Romainville, du Pré St Gervais et des Lilas			4 940 Equivalent-logements

Echelle :



Potentiel Modéré



Potentiel Favorable

L'analyse de toutes les potentialités du groupe 1 donne les résultats suivants :

(Valeur Avril 2010)	Aubervilliers (Solution + PAC)	Drancy	Montreuil	Noisy le Sec	Rosny-sous-Bois	Groupement 1	Groupement 2
Nombre d'équivalent-logement	6 553	5 931	6 255	5 715	6 498	6 064	4 940
Température d'exhaure	59 °C	65 °C	64 °C	63 °C	65 °C	65 °C	63 °C
Débit géothermique (m ³ /h)	280	280	280	280	280	280	280
Besoin Total	80 658 MWh	69 524 MWh	70 521 MWh	73 624 MWh	77 303 MWh	74 254 MWh	61 768 MWh
Fourniture Géothermique	65 614 MWh	37 484 MWh	36 657 MWh	37 171 MWh	40 891 MWh	39 119 MWh	32 700 MWh
Fourniture Appoint Gaz	15 044 MWh	32 040 MWh	33 864 MWh	36 453 MWh	36 411 MWh	35 136 MWh	29 069 MWh
Taux de couverture	81,3%	53,9%	52,0%	50,5%	52,9%	52,7%	52,9%
Contenu en CO ₂ (gCO ₂ /kWh Utile)	68	122	127	131	125	126	125
Investissements							
<i>Sous-sol</i>	14 206 600 €	14 206 600 €	14 206 600 €	14 206 600 €	14 206 600 €	14 206 600 €	14 206 600 €
<i>Surface</i>	12 058 000 €	11 891 880 €	13 888 800 €	9 104 400 €	11 345 400 €	13 530 240 €	11 502 000 €
Total	26 265 400 €	26 098 480 €	28 095 400 €	23 311 000 €	25 552 000 €	27 736 840 €	25 708 600 €
<i>Aides Possibles du Fonds Chaleur</i>	10 341 600 €	10 053 600 €	10 833 600 €	9 033 600 €	10 113 600 €	10 533 600 €	9 813 600 €
Investissements Total avec Aides	15 923 800 €	16 044 880 €	17 261 800 €	14 277 400 €	15 438 400 €	17 203 240 €	15 895 000 €

Figure 6 : Synthèse générale de l'analyse des potentialités des communes du groupe 1

Pour chacun des sites potentiels, les résultats présentent le détail du patrimoine des bailleurs concernés par l'éventuelle création de réseau, le patrimoine communal et département potentiellement raccordable et une cartographie de la ville avec un tracé possible de réseau.

Par ailleurs, pour chacune des communes du Groupe 1, une variante avec PAC a été simulée. L'ajout d'une PAC permet d'améliorer sensiblement le taux de couverture de l'installation et de réduire le contenu en CO₂ des réseaux proposés.

(Valeur Avril 2010)	Drancy	Montreuil	Noisy le Sec	Rosny-sous-Bois	Groupe 1	Groupe 2
Puissance installée (kW)	3 860	4 160	4 720	4 760	4 480	3 200
Taux de couverture Géothermie +PAC	76,8%	76,6%	79,6%	78,4%	77,9%	77,2%
Coût utile du MWh utile (€/MWh) pour un TRI de 8%	56,7	58,5	52,2	53,1	55,9	59,2
Contenu en CO ₂ du réseau (gCO ₂ /kWh utile)	73	74	69	70	71	73

Figure 7 : Tableau avec les principaux résultats pour les réseaux avec géothermie et PAC

- Groupe 2 : « Villes où la réalisation d'une opération de géothermie est envisageable dans le cadre d'études complémentaires ».

	Le Blanc-Mesnil	Bobigny	Le Bourget	Dugny	Epinay-sur-Seine	Gagny	Les Lilas	Pantin	Le Pré Saint-Gervais	Romainville	Stains	Villepinte	Villetaneuse
Géothermie au Dogger existante	X												
Géothermie au Dogger en association avec une ou des communes	X	X					X		X	X			
Géothermie au Dogger sous conditions		X	X					X				X	
Géothermie sur un aquifère plus superficiel (Lusitanien – Albien/Néocomien)	X	X		X	X	X	X		X		X		X
PAC Collectives sur eau de nappe	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Figure 8 : Tableau synthétique des opportunités du Groupe 2

- Groupe 3 : « **Villes où une opération de géothermie est favorable mais, où il existe déjà une réalisation et/ou un projet est en cours et/ou des études complémentaires sont nécessaires** ».

Pour les communes des Groupes 2 et 3 :

Soit l'accès au Dogger n'est pas réalisable en raison d'un manque de valorisation en surface. Celles-ci pourront, éventuellement et sous réserves d'études complémentaires, se tourner vers des aquifères plus superficiels tels que le Lusitanien/Néocomien ou l'Albien avec l'installation de pompes à chaleur.

Pour d'autres, la ressource au Dogger est jugée « Modérée », principalement à cause de sa température, et pourra toutefois être valorisée, après études complémentaires, par un recours à la technologie des pompes à chaleur.

- Groupe 4 : « **Villes où les besoins en surface et/ou les ressources géothermique (au Dogger) sont jugées insuffisantes dans le cadre de cette pré-étude** ».

Cette étude permet de mettre en évidence un réel potentiel de la géothermie profonde en Seine-Saint-Denis. En supposant que toutes les collectivités et groupements du Groupe 1 réalisent une géothermie au Dogger l'investissement global d'environ 180 M€ (hors subventions) :

- Avec 11 réseaux de chaleur géothermique, la Seine-Saint-Denis se situerait derrière le Val-de-Marne (14 réseaux).
- 20 000 TEP et 60 000 tonnes de CO₂ économisés annuellement ;
- Environ 55 000 logements raccordés à un réseau de chaleur utilisant l'énergie géothermale comme énergie principale ;
- Un mix énergétique des réseaux de chaleur de Seine-Saint-Denis qui évoluerait de 7,5% à près de 20 % d'énergie géothermique.
- Le contenu moyen en CO₂ des réseaux départementaux passerait de 0,213 gCO₂/kWh utile à 0,191 gCO₂/kWh utile, et se situerait dans la moyenne nationale.

SOMMAIRE

Synthèse	2
Sommaire	8
Introduction	12
Etat des lieux	13
1. LA GEOTHERMIE PROFONDE	13
A. INTRODUCTION A LA GEOTHERMIE	13
B. CARTOGRAPHIE DE LA RESSOURCE	15
I. Grès du Trias.....	16
II. Calcaires du Dogger.....	17
III. Calcaires du Lusitanien.....	18
IV. Sables de l'Albien et du Néocomien.....	19
2. RETOUR D'EXPERIENCE DES RESEAUX GEOTHERMIQUES	20
A. FONCTIONNEMENT D'UN RESEAU DE CHALEUR GEOTHERMIQUE	20
I. Eléments constitutifs.....	20
II. Le doublet géothermique & la boucle géothermale.....	21
• La gestion de la ressource – réglementation	21
• L'exploitation de l'eau géothermale du Dogger.	21
• Géométrie des forages	22
• Diamètres des tubages	24
• Traitement inhibiteur de corrosion/dépôts	24
• Diagraphie de contrôle	24
III. La centrale géothermique.....	25
• Potentiel thermique d'une opération de géothermie.....	25
• Paramètres clefs d'un réseau géothermique	26
IV. Organisation du réseau de distribution.....	28
• Fonctionnement des sous-stations	28
• Intégration des systèmes d'appoint-secours.....	30
V. Adaptabilité d'un réseau existant à une opération de géothermie	32
• Les réseaux de chaleur en eau surchauffée.....	32
• Les réseaux de chaleur « eau chaude » ou « basse température »	33
B. HISTORIQUE DE LA GEOTHERMIE FRANCILIENNE	34
C. BILAN DES OPERATIONS EXISTANTES EN SEINE-SAINT-DENIS	36
I. Emprise en surface des réseaux de chaleur en Seine-Saint-Denis	36
II. Emprise sous-sol des réseaux géothermiques	37
III. Bilan Technique des forages.....	38
IV. Bilan Energétique.....	40
• Taille des réseaux de chaleur.....	40
• Consommation énergétique de l'équivalent-logement	41
• Bouquet Energétique.....	41

V.	<i>Bilan Environnemental</i>	43
•	Quotas d'émissions de CO ₂	43
•	Contenu en CO ₂ des réseaux de chaleur du département	44
VI.	<i>Bilan Economique</i>	45
•	Notions de Tarification des réseaux de chaleur	45
•	Prix de vente moyen de la chaleur	45
VII.	<i>Bilan Juridique</i>	47
•	Réseaux privés	47
•	Réseaux publics	47
3.	CONCLUSION DE L'ETAT DES LIEUX	52
	Perspectives de développement de la géothermie	53
1.	CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL, REGLEMENTAIRE ET ECONOMIQUE	53
A.	<i>GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT</i>	53
I.	<i>Grenelle 1</i>	53
II.	<i>Grenelle 2</i>	54
B.	<i>PERSPECTIVES DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE DE 2012</i>	55
C.	<i>PLAN-CLIMAT DU DEPARTEMENT DE SEINE-SAINT-DENIS</i>	56
2.	POTENTIALITES DE LA SEINE-SAINT-DENIS.....	57
A.	<i>METHODE DE CRIBLAGE POUR DE NOUVELLES OPERATIONS DE GEOTHERMIE PROFONDE</i>	57
I.	<i>Evaluation du potentiel géothermique du Dogger</i>	57
II.	<i>Critères retenus pour l'évaluation du potentiel en surface</i>	59
•	Conditions pour une opération au Dogger	59
•	Conditions pour une opération au Lusitanien ou à l'Albien/Néocomien	61
•	Origine des données	61
B.	<i>RESULTATS DE LA METHODE DE CRIBLAGE</i>	63
I.	<i>Groupe 1</i>	63
II.	<i>Groupe 2</i>	64
•	Blanc-Mesnil	65
•	Bobigny.....	66
•	Le Bourget	67
•	Dugny	68
•	Epinay-sur-Seine	69
•	Gagny	70
•	Les Lilas.....	71
•	Pantin	72
•	Le Pré Saint-Gervais.....	73
•	Romainville	74
•	Stains	75
•	Villepinte.....	76
•	Villetaneuse	77

• Synthèse des opportunités du Groupe 2	78
III. Groupe 3.....	79
• Aulnay-sous-Bois	79
• Bagnolet.....	79
• Bondy	80
• Clichy-sous-Bois	80
• La Courneuve.....	80
• Neuilly-sur-Marne	80
• Saint-Denis	80
• Sevrans	81
• Tremblay-en-France	81
IV. Groupe 4.....	82
• Coubron.....	82
• Gournay-sur-Marne	83
• L'Ile Saint-Denis.....	83
• Livry-Gargan	83
• Montfermeil.....	83
• Neuilly-Plaisance.....	83
• Noisy-le-Grand	83
• Les Pavillons-sous-bois	84
• Pierrefitte-sur-Seine	84
• Le Raincy	84
• Saint-Ouen	84
• Vaujours	84
• Villemomble	84
3. ANALYSE DES POTENTIALITES AU DOGGER	85
A. ASPECTS ECONOMIQUES DES RESEAUX DE CHALEUR GEOTHERMIQUES	85
I. Investissements.....	85
II. Aides financières au montage de l'opération	85
III. Financement de l'opération.....	86
IV. Coût d'exploitation	86
V. Planification type pour une nouvelle opération de géothermie profonde	87
B. ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE POUR LES VILLES RETENUES DANS LE GROUPE 1	88
I. Aubervilliers	89
• Description technique de l'opération.....	89
• Analyse économique	92
II. Drancy	94
• Description technique de l'opération.....	94
• Analyse économique	97
III. Montreuil.....	99
• Description technique de l'opération.....	99

• Analyse économique	102
IV. <i>Noisy-le-Sec</i>	104
• Description technique de l'opération	104
• Analyse économique	107
V. <i>Rosny-sous-Bois</i>	109
• Description technique de l'opération	109
• Analyse économique	112
VI. <i>Groupement 1 (Drancy, Le Blanc-Mesnil, Bobigny)</i>	114
• Description technique de l'opération	114
• Analyse économique	117
VII. <i>Groupement 2 (Les Lilas, Le Pré Saint-Gervais, Romainville)</i>	119
• Description technique de l'opération	119
• Analyse économique	122
VIII. <i>Variantes avec utilisation des pompes à chaleur</i>	124
C. SYNTHÈSE DES POTENTIALITÉS AU DOGGER POUR LA SEINE-SAINT-DENIS	125
D. RETOMBÉES ENVIRONNEMENTALES POSSIBLES POUR LA SEINE-SAINT-DENIS	125
Conclusion	127
Glossaire	129

INTRODUCTION

Dans le contexte environnemental actuel, où le recours aux énergies renouvelables est devenu une nécessité afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre, la géothermie profonde présente d'indéniables intérêts en Ile-de-France. Cette énergie renouvelable est présente sur le territoire francilien avec des caractéristiques géologiques variables selon les zones géographiques et une accessibilité connue. De plus, en associant la géothermie profonde avec un réseau de chaleur il est possible d'alimenter rapidement, en une seule opération, plusieurs centaines ou milliers de logements en énergie renouvelable. Ainsi, plus d'une trentaine d'installations en Ile-de-France exploitent cette ressource quotidiennement, permettant ainsi de bénéficier de retours d'expériences significatifs.

C'est pour ces raisons que, dans le cadre du plan de relance de la géothermie soutenu par la région Ile-de-France et l'ADEME, le SIPPAREC a lancé une étude sur le département de la Seine-Saint-Denis. L'objectif de l'étude est de réaliser un état des lieux et de dresser les perspectives de recours à la géothermie profonde sur ce territoire.

ETAT DES LIEUX

1. La Géothermie profonde

A. *Introduction à la géothermie*

Définition de la géothermie :

La géothermie est l'exploitation de l'énergie stockée sous forme de chaleur sous la surface de la terre.

Pour pouvoir être exploitée l'énergie géothermale nécessite :

- d'atteindre en profondeur (maximum 5 km) une zone suffisamment chaude pour l'usage souhaité, par la réalisation d'un ou plusieurs forages ;
- d'extraire la chaleur contenue dans la zone atteinte par le(s) forage(s). Généralement, l'eau ou la vapeur contenue dans un réservoir naturellement poreux et perméable est le fluide qui transporte l'énergie à la surface.
- l'adéquation entre la ressource en profondeur et les besoins énergétiques en surface (rôles des états des lieux sous-sol et surface).

Selon le contexte géologique, plusieurs types de réservoirs géothermiques peuvent être distingués:

- En contexte volcanique : L'eau d'origine météorique ou marine s'infiltré au travers de fissures jusqu'à rencontrer une zone chaude au dessus de la chambre magmatique. Le fluide réchauffé remonte vers la surface au travers un réseau de failles et peut être capté par des forages. La température du fluide géothermal peut dépasser 200°C. C'est par exemple le cas de l'Islande et de toute la ceinture de feu du pacifique.



Figure 9 : Régions géothermiques de très haute température

- En contexte sédimentaire : Les aquifères constituent des réservoirs géothermiques potentiels à condition que la température soit suffisante pour l'usage souhaité. C'est le cas des aquifères profonds du bassin de Paris et de ceux du bassin aquitain.

- Enfin, en tout endroit de la Terre, en forant suffisamment profond, il est possible d'atteindre des températures élevées (l'accroissement moyen de la température est de 3°C par 100m). En l'absence de réservoir contenant un fluide, on peut envisager de créer des fractures entre deux forages par injection de fluide à haute pression. Le réseau de fracture constitue un échangeur de chaleur entre la roche et un fluide « froid » injecté par un premier forage, qui se réchauffera avant d'être pompé dans un autre forage. Ce type de réservoir géothermique stimulé a été développé en Alsace de manière expérimentale et plusieurs projets industriels tentent de reproduire ce dispositif, en Australie notamment.

Selon la température de la ressource géothermique, 4 types de géothermies, correspondant à des usages spécifiques, existent (cf. Diagramme de Lindal - Figure 10).

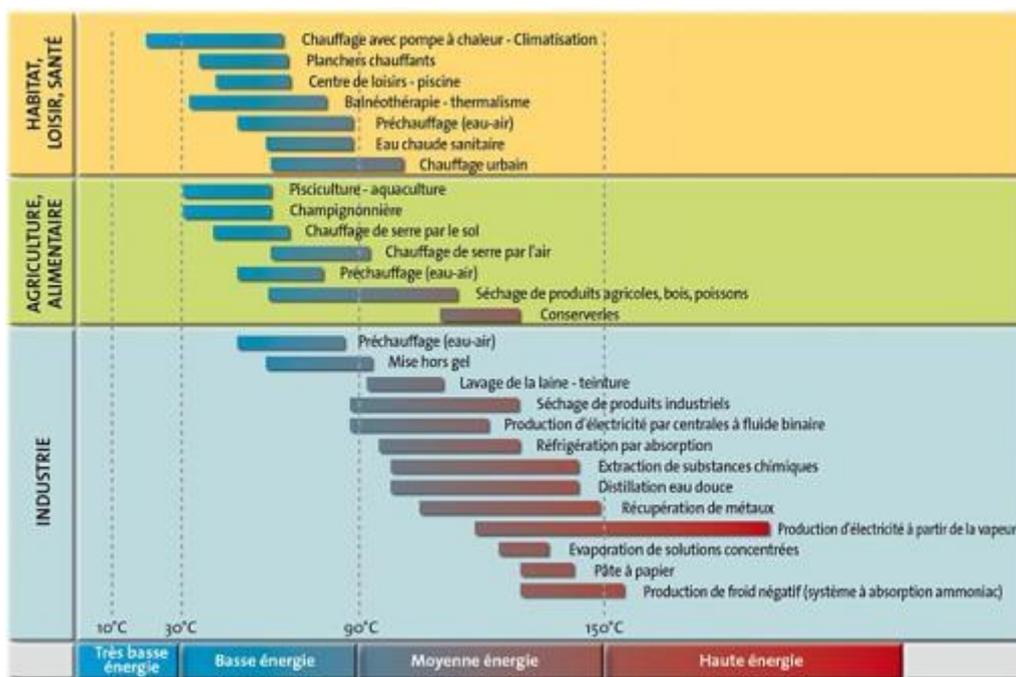


Figure 10 : Les usages de la géothermie (source BRGM-ADEME)

- Géothermie « Haute Température ». Elle concerne majoritairement les régions volcaniques et sont susceptibles de produire de la vapeur à une température supérieure à 150°C. Dans ce cas-là, la géothermie est utilisée pour produire de l'électricité comme par exemple à Bouillante en Guadeloupe.
- Géothermie « Moyenne Température ». Les sites délivrent de l'eau dont la température est comprise entre 90 et 150 °C. Il est possible de produire de l'électricité à ces niveaux de température par l'intermédiaire d'un fluide organique. Des applications industrielles sont aussi possibles.
- Géothermie « Basse Température ». La température obtenue sur ces sites ne dépasse pas 90°C et les sites exploitables sont principalement localisés dans les bassins sédimentaires. Le niveau de température permet d'envisager d'utiliser la chaleur pour le chauffage des locaux ou pour des applications industrielles ou agricoles.
- Géothermie « Très Basse Température ». Elle est utilisée pour toute application de géothermie où les températures n'excèdent pas 30°C. La ressource est facilement accessible (quelques mètres de profondeur) et uniformément répartie à l'échelle du Monde. Elle permet de chauffer et/ou de refroidir les locaux par l'intermédiaire d'une Pompe à Chaleur (PAC).

B. Cartographie de la ressource

Le bassin de Paris est formé par un empilement de couches sédimentaires déposées durant 250 millions d'années sur un socle cristallin ancien. Sur le continent, il est limité par des massifs montagneux anciens (Massif Armoricain à l'Ouest, Massif Central au Sud et Ardennes au Nord Est) et par le fossé rhénan à l'Est. Au Nord, le bassin se prolonge en Belgique, dans la Manche et en Angleterre.

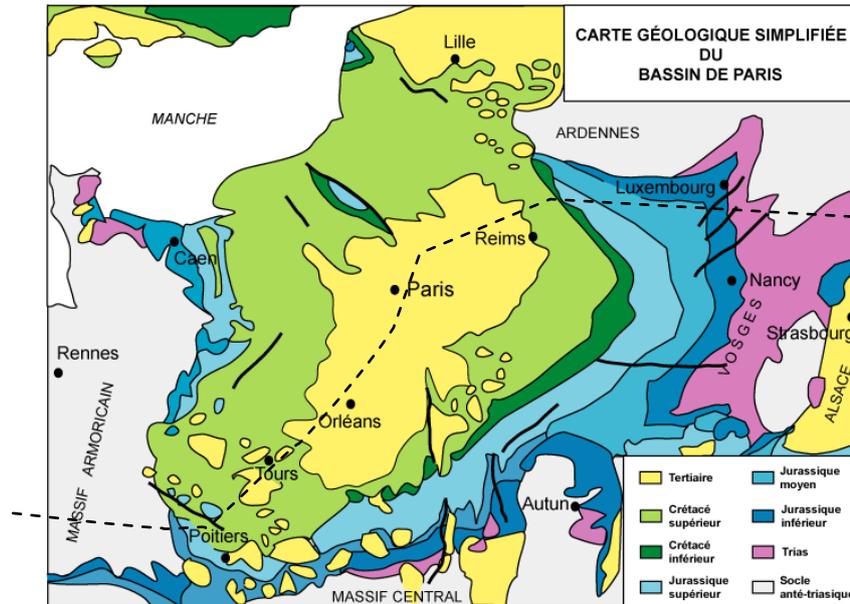
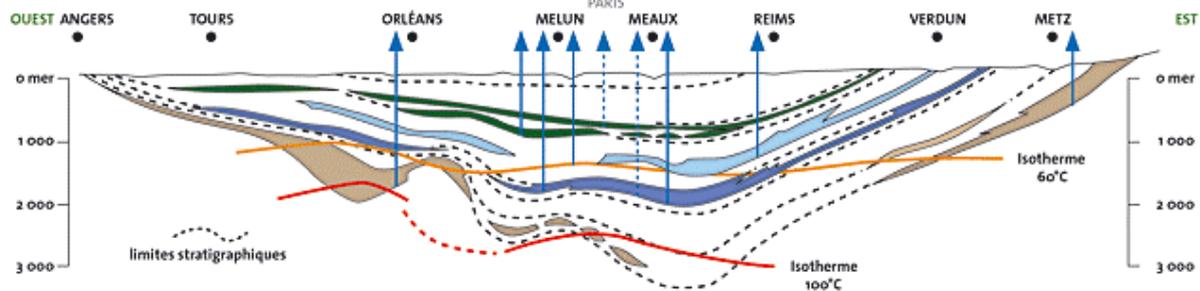


Figure 11 : Carte géologique simplifiée du Bassin de Paris (d'après Ménégnien 1980: Synthèse géologique du bassin de Paris)



Aquifères	Périodes
-	Crétacé supérieur
Sables de l'Albien Sables du Néocomien	Crétacé inférieur
Calcaires du Lusitanien	Jurassique supérieur
Calcaires du Dogger	Jurassique moyen
-	Jurassique inférieur
Grès du Trias	Trias

Figure 12 : Les aquifères profonds du Bassin de Paris - coupe schématique - source BRGM

La profondeur maximale du bassin de Paris est de 3000 m environ, la température y dépassant alors 100°C (cf. Figure 12).

Quatre aquifères profonds sont identifiés dans le Bassin de Paris (cf. Figure 12). On distingue de la base du bassin, vers la surface : les Grès du Trias, les Calcaires du Dogger du Jurassique moyen, les Calcaires du Lusitanien du Jurassique supérieur et les sables de l'Albien et du Néocomien du Crétacé inférieur. Les caractéristiques principales de ces aquifères au droit de la Seine Saint Denis sont détaillées ci-après.

La précision des cartes varie en fonction de la quantité de données disponibles.

I. Grès du Trias

Il existe plusieurs réservoirs gréseux d'âge Triasique dans le bassin de Paris.

Si le Trias a montré localement des capacités de réservoir pétrolier, en Île-de-France, les rares tentatives d'exploitation géothermique, comme à Achères (78), n'ont pas abouti. En 2008, le BRGM proposa une nouvelle évaluation du potentiel géothermique de cinq réservoirs gréseux, en termes de chaleur exploitable (sans tenir compte des transmissivités). Ces réservoirs montrent un potentiel non négligeable sur certaines zones. Il ressort de cette étude que le Trias pourrait présenter un intérêt dans le cas d'une saturation locale de l'exploitation du Dogger.

Ailleurs, et malgré une température très favorable en Seine-Saint Denis (supérieure à 80°C) la méconnaissance de la ressource et le manque d'expérience dans son exploitation en font une cible secondaire par rapport au Dogger, dont les contraintes sont connues et maîtrisées.

<i>Cote du toit</i>	<i>-1950 à -2100 m NGF</i>
<i>Transmissivité</i>	<i>1 à 5 Dm</i>
<i>Température</i>	<i>80 à 90 °C</i>
<i>Salinité</i>	<i>> 100 g/l</i>

Figure 13 : Caractéristiques géologiques des Grès du Trias en Seine-Saint-Denis

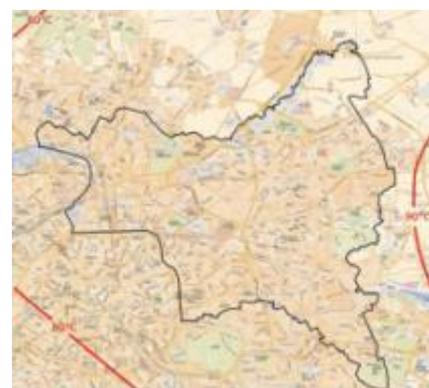
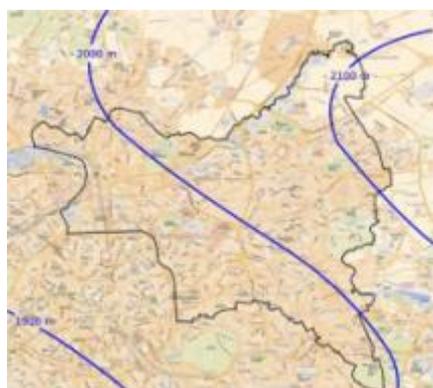


Figure 14 : Profondeur (gauche) et Température (droite) des Grès du Trias

II. Calcaires du Dogger

C'est l'aquifère profond le mieux connu en Île-de-France grâce à de nombreuses opérations de géothermies réalisées pour la plupart dans les années 80.

En Seine-Saint-Denis, la température de l'aquifère varie entre 57 °C au niveau de Saint-Denis et 74°C à Tremblay-en-France. Les niveaux de température à l'ouest du département sont faibles. Néanmoins trois opérations existent, deux à la Courneuve, et récemment à la Porte d'Aubervilliers où il sera fait usage de pompes à chaleur.

La transmissivité du réservoir, mesurée localement autour des forages, montre une grande variabilité, témoignant de variations locales des propriétés géologiques. Les valeurs minimales ont été mesurées à l'extrême ouest du département. La transmissivité moyenne, autour de 40 Dm autorise des débits de production élevés moyennant l'utilisation d'une pompe de production.

Enfin, la chimie de l'eau est agressive ; en effet la salinité est élevée (> 20 g/l) et l'eau géothermale contient des gaz dissous (notamment CO₂, CH₄, H₂S).

Historiquement le Dogger a été choisi pour alimenter les réseaux de chauffage urbain dans le bassin de Paris. Sa température et sa productivité sont compatibles avec des besoins de fortes puissances moyennant un réseau de distribution adapté.

Cote du toit	-1500 à -1650 m NGF
Transmissivité	10 à 90 Dm
Température	57 à 74 °C
Salinité	20 à 30 g/l

Figure 15 : Caractéristiques géologiques des Calcaires du Dogger en Seine-Saint-Denis



Figure 16 : Profondeur (gauche), Température (centre) et Transmissivité (droite) des Calcaires du Dogger

III. Calcaires du Lusitanien

Les calcaires du Lusitanien ont été reconnus comme réservoir pour les gisements d'hydrocarbure dans la Marne

Légèrement moins profond que le Dogger, le réservoir du Lusitanien est dans une situation intermédiaire peu intéressante pour la géothermie en Seine-Saint Denis. En effet la température de cet aquifère n'atteint que 60°C à la pointe sud-est du département, tandis qu'elle n'est que de 45°C à l'ouest. De plus la transmissivité est relativement faible, estimée entre 1 et 10 Dm.

Néanmoins, l'exploitation de cet aquifère ne doit pas être pour autant exclue, notamment à l'ouest du département grâce à l'usage de pompes à chaleur.

Cote du toit	-1150 à -1350 m NGF
Transmissivité	1 à 10 Dm
Température	45 à 60 °C
Salinité	5 à 10 g/l

Figure 17 : Caractéristiques géologiques des Calcaires du Lusitanien en Seine-Saint-Denis

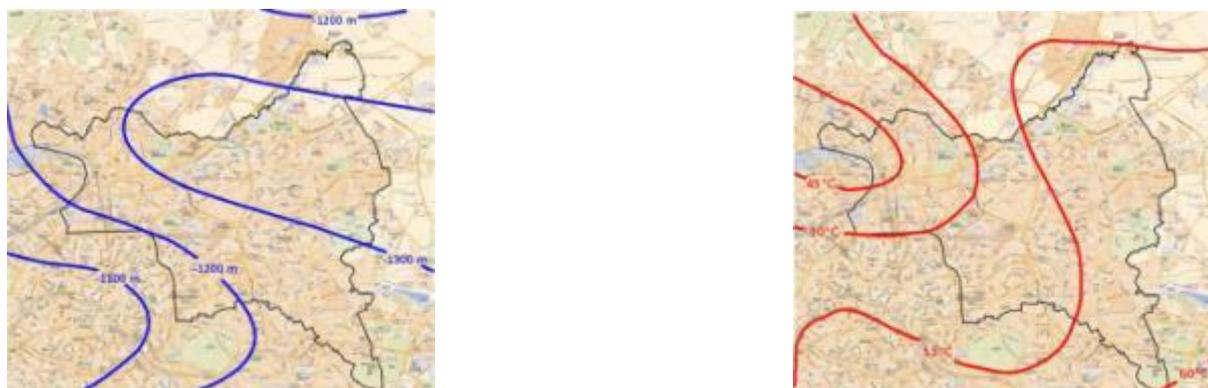


Figure 18 : Profondeur (gauche) et Température (droite) des Calcaires du Lusitanien

IV. Sables de l'Albien et du Néocomien

La nappe de l'Albien est réputée en Ile de France pour la qualité son eau. Elle est utilisée en Seine Saint Denis pour l'alimentation en eau potable (forages du SEDIF à Pantin et à Aulnay-sous-Bois) et à des fins industrielles, à la blanchisserie de Pantin ou à Saint Denis.

D'anciens forages, à Bobigny et Villemomble, complètent la connaissance de cet aquifère dans le département.

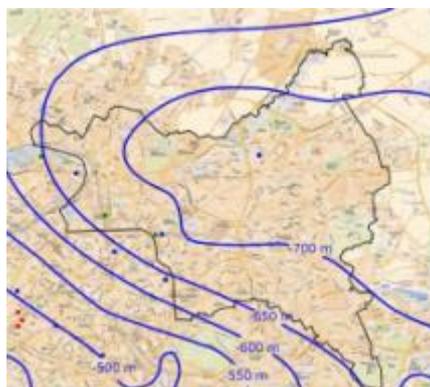
Historiquement ce fut la première nappe profonde du bassin de Paris à être exploitée pour la géothermie dès 1955 à la Maison de la Radio (Paris 15^{ème}). Sa température intermédiaire, entre 30 et 36 °C sur le département, permet un usage pour la production de chaleur ou de froid en utilisant une pompe à chaleur.

La température de la ressource, nettement plus faible que celle du Dogger, limite l'utilisation de l'Albien à des programmes immobiliers de puissance modérée, équipés d'émetteurs de chaleur à basse température, pour garantir des performances élevées de la pompe à chaleur.

Le Néocomien, légèrement plus profond que l'Albien, montre des caractères similaires cependant moins intéressants (transmissivité et épaisseur plus faibles). Le Néocomien peut être exploité en combinaison avec l'Albien.

Cote du toit	-650 à -750 m NGF
Transmissivité	~ 10 Dm
Température	30 à 36 °C
Salinité	< 1g/l

Figure 19 : Caractéristiques géologiques des Sables de l'Albien et du Néocomien en Seine-Saint-Denis



- Alim. Eau Pot. SAGEP (PARIS) SEDIF (Banlieue)
- Eau industrielle (blanchisseries...)
- Géothermie avec PAC (Radio France, Tour Mirabeau)

Figure 20 : Profondeur (gauche) et Usages (droite) des Sables de l'Albien et du Néocomien

2. Retour d'expérience des réseaux géothermiques

A. *Fonctionnement d'un réseau de chaleur géothermique*

I. Éléments constitutifs

Une opération de réseau de chaleur géothermique a pour objet l'exploitation des ressources thermiques d'un aquifère (en règle générale le Dogger dans le bassin parisien) pour la production de chaleur destinée à remplacer partiellement les combustibles traditionnels utilisés dans les diverses chaufferies.

Une opération de géothermie est constituée de 3 parties principales :

- Le doublet géothermique et la boucle géothermale : forages de production et de réinjection, équipement de pompage et de réinjection, canalisations géothermales, robinetterie et accessoires ;
- La centrale géothermique : lieu où l'énergie géothermale est transférée au réseau de distribution géothermique par des échangeurs de chaleur ;
- Le réseau de chaleur (ou circuit géothermique) :
 - Le réseau de distribution de chaleur aux divers utilisateurs ;
 - Les sous-stations raccordées au réseau (en général les anciennes chaufferies existantes transformées) ;
 - La ou les chaufferies d'appoint et de secours destinées à produire l'énergie complémentaire quand la chaleur produite par la centrale géothermique est insuffisante ou pour le remplacement de la production géothermique en cas d'avarie sur la boucle géothermale.

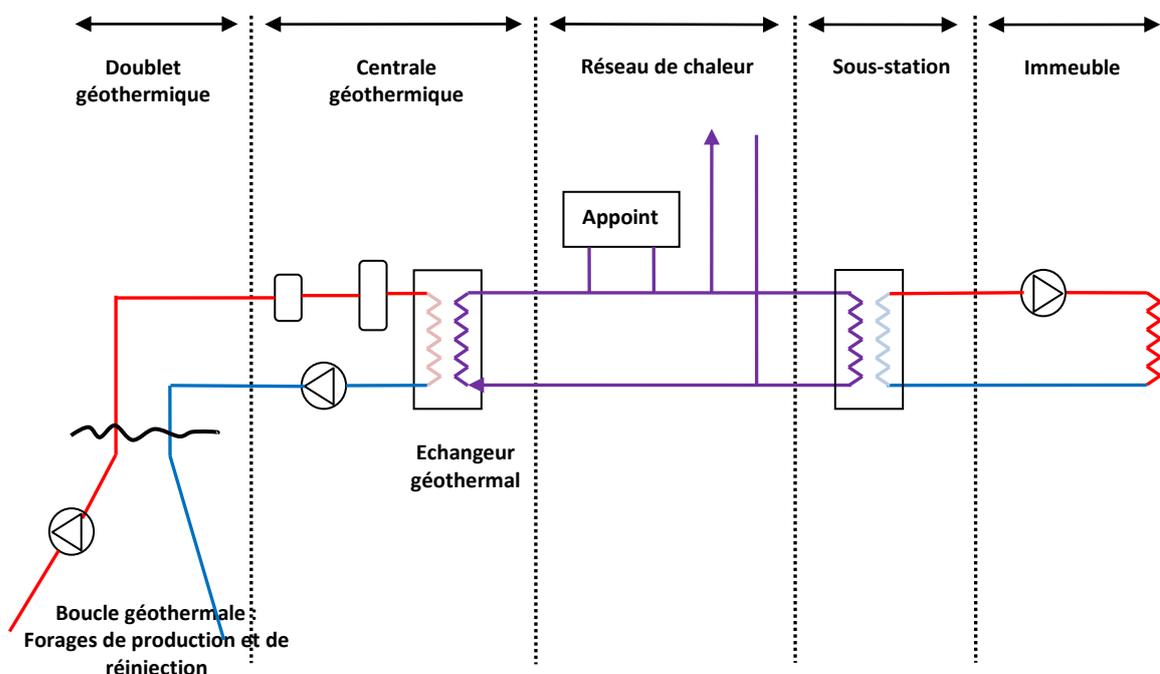


Figure 21 : Principaux éléments d'une opération géothermique associée à un réseau de chaleur

II. Le doublet géothermique & la boucle géothermale

La boucle géothermale, ou circuit primaire est constituée d'un doublet (ou triplet) de forages permettant l'extraction d'eau géothermale puis sa réinjection dans le même aquifère. La chaleur est extraite de l'eau géothermale au moyen d'un échangeur de chaleur situé entre le circuit primaire et le secondaire (réseau de distribution de chaleur).

- La gestion de la ressource – réglementation

La géothermie profonde est considérée comme une industrie extractive. A ce titre, c'est une mine de chaleur dont l'état accorde une concession à l'exploitant. En Île-de-France, la DRIEE instruit les dossiers de délivrance des permis miniers accordés par la Préfecture.

Un arrêté préfectoral définit les conditions de l'exploitation, et en particulier un périmètre à l'intérieur duquel seul le titulaire du permis est autorisé à exploiter la ressource. Ce périmètre prend, dans le cas d'un doublet, la forme d'une gélule. Horizontalement, elle est construite selon l'enveloppe convexe de deux disques de diamètres égaux à la distance entre les points d'impacts des forages au niveau du réservoir, centrés sur ces points (Figure 22).

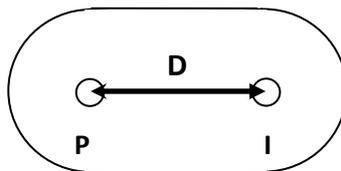


Figure 22 : Périmètre d'exploitation défini par arrêté préfectoral

Ces périmètres sont définis de manière à éviter une trop grande interférence entre opérations voisines (cf. Figure 34).

- L'exploitation de l'eau géothermale du Dogger.

Le Dogger est un réservoir artésien. Cela signifie que la pression dans le réservoir est suffisante pour que l'eau jaillisse naturellement d'un forage. Certaines opérations profitent de cette particularité pour exploiter la ressource sans pompe de production, en utilisant uniquement une pompe de réinjection pour contrer la pression naturelle du réservoir au puits injecteur.

Cependant le mode d'exploitation artésien n'est pas généralisable. Lors de la remontée de l'eau géothermale dans le puits, la baisse de pression peut entraîner la libération des gaz dissous, perturbant la stabilité chimique de l'eau, ce qui peut être préjudiciable aux équipements (phénomènes aggravés de corrosion, dépôts). Le fonctionnement à une pression suffisante pour maintenir les gaz dissous limite alors le débit d'exploitation des ouvrages. L'utilisation d'un dégazeur permet d'exploiter l'eau géothermale en séparant le gaz et l'eau, le débit se trouve alors limité par les capacités d'artésianisme du puits.

Il est recommandé d'utiliser une pompe de production immergée dans le forage producteur. Ce dispositif présente le double avantage de permettre l'augmentation du débit du forage par rapport au débit artésien et de maintenir une pression de production suffisamment élevée, pour empêcher le phénomène de dégazage.

La réinjection de l'eau géothermale dans le même aquifère est obligatoire. D'une part, ni le rejet dans le milieu naturel en surface, ni le traitement en station d'épuration ne sont envisageables (débits élevés $> 200 \text{ m}^3/\text{h}$, eau trop chaude et trop minéralisée). D'autre part la réinjection permet de garantir un maintien de la pression de l'eau dans le réservoir.

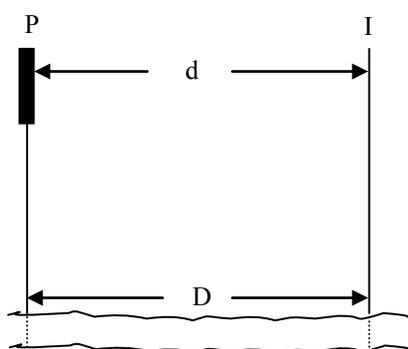
L'eau refroidie étant réinjectée dans le même réservoir, il est nécessaire d'éloigner le point d'injection du point de prélèvement, afin de retarder le retour de l'eau refroidie au puits producteur. C'est le phénomène de percée thermique.

- Géométrie des forages

La distance préconisée pour retarder la percée thermique au delà de 25 ans est d'environ 1000 m (distance D dans les schémas ci-dessous). Elle tient compte de l'épaisseur de l'aquifère, du débit d'exploitation et des paramètres thermiques du réservoir. Afin d'écartier les points de prélèvement et de réinjection, plusieurs géométries de puits existent.

- 1^{ère} génération de forages

La première génération de doublets utilise deux puits verticaux, réalisés depuis deux plates-formes de forage distinctes. Ce schéma, s'il est simple sur le principe, présente l'inconvénient de mobiliser deux sites de forages (3000 m^2 environ chacun), et nécessite de réaliser une conduite en surface pour transporter l'eau géothermale depuis la centrale (proche du puits producteur) jusqu'au puits injecteur. En milieu fortement urbanisé, une disponibilité foncière limitée ne permet pas d'implanter deux chantiers et la conduite enterrée est onéreuse.



Technologie : 2 forages verticaux

Complétion :

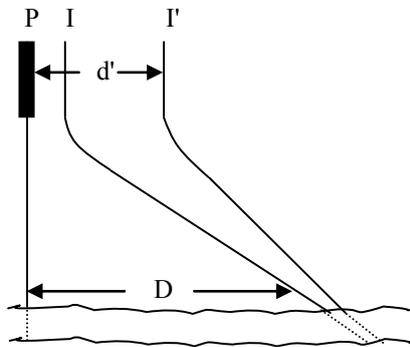
Producteur : $13^{3/8} \times 7''$ ou $10^{3/4} \times 7''$

Injecteur : $7''$

Tubage double $9^{5/8} \times 7''$ vis à vis des aquifères de l'Albien et du Néocomien.

▪ 2nd génération de forages

La deuxième génération de doublet utilise un forage vertical (souvent le producteur) et un forage dévié, réalisé depuis la même plateforme en surface. Afin d'obtenir la distance de 1000 m nécessaire au niveau du réservoir, l'angle de déviation est de l'ordre de 50 à 55° par rapport à la verticale.



Technologie : 1 forage vertical Producteur, 1 dévié (Injecteur, Injecteur') à partir une seule (I) ou deux (I') plateformes

Complétion :

Producteur : 13^{3/8} x 7" or 10^{3/4} x 7"

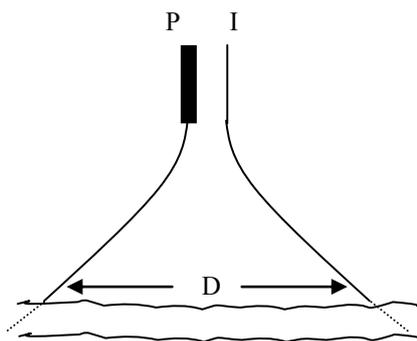
Injecteur, Injecteur' : 7"

Tubage double 9^{5/8} x 7" vis à vis des aquifères de l'Albien et du Néocomien

L'utilisation de puits déviés permet de limiter le chantier à un seul site de forage en surface et limite la longueur des conduites entre la centrale et les puits.

▪ 3^e génération de forages

La troisième génération de doublets utilise deux forages déviés depuis la même plateforme en surface. La déviation de chaque ouvrage est plus faible, chaque forage étant dévié d'un angle de 30° à 40° environ.



Technologie : 2 forages déviés à partir d'une seule plateforme

Complétion :

	Solution 1	Solution 2
Producteur	13 ^{3/8} x 7" ou 10 ^{3/4} x 7"	13 ^{3/8} x 9 ^{5/8}
Injecteur	7"	9 ^{5/8}
	Tubage double 9 ^{5/8} x 7" vis à vis des aquifères de l'Albien et du Néocomien	Simple tubage vis à vis des aquifères de l'Albien et du Néocomien

- [Diamètres des tubages](#)

Le débit d'exploitation d'un doublet géothermique peut atteindre entre 250 et 350 m³/h, selon les besoins du réseau et les capacités du réservoir. De tels débits nécessitent d'utiliser des forages suffisamment larges pour limiter les pertes de charges hydrauliques.

Les premières opérations de géothermies utilisaient des forages de “petits” diamètres. Les puits producteur étaient équipés, en partie supérieure, d'une chambre de pompage de grand diamètre (10^{3/4} ou 13^{3/8}, soit environ 25 et 32 cm) destinée à accueillir une pompe immergée et tubés en partie inférieure en petit diamètre (7" soit 16 cm environ). Les puits injecteurs étaient intégralement tubés en diamètre 7".

Plus tard, la partie inférieure du puits de production et le puits d'injection furent équipés de tubage de plus grand diamètre, (9^{5/8}, soit 22 cm environ). Plus coûteux à la réalisation, ils apportent un gain à l'exploitation car les pertes de charges sont réduites par rapport à un tubage de 7". Par ailleurs, si un percement du tubage survient, il est possible de restaurer l'intégrité du puits en le rechemisant avec un tubage neuf de plus petit diamètre (7") et de poursuivre l'exploitation moyennant une augmentation des pertes de charges. Cette solution de rechemisage n'est envisageable dans un tubage 7" endommagé, qu'au prix d'une réduction du débit d'exploitation et de l'augmentation de la puissance électrique des pompes de production et de réinjection.

Les forages exploitant le Dogger traversent les nappes d'eau potable de l'Albien et du Néocomien. Pour protéger cette ressource d'eau potable d'une pollution par intrusion d'eau géothermale, l'administration de tutelle (DRIEE) impose la mise en place de deux tubages cimentés vis-à-vis des niveaux perméables des sables de l'Albien et du Néocomien.

- [Traitement inhibiteur de corrosion/dépôts](#)

La nature agressive de l'eau a entraîné par le passé de graves phénomènes de corrosions de l'acier des tubages et de dépôts de sulfures. L'utilisation d'un dispositif de traitement de l'eau permet désormais de contrôler la cinétique de ces phénomènes. Pour cela, un tube de traitement de petit diamètre est descendu jusqu'au bas des tubages et permet l'injection continue d'un produit de traitement.

L'efficacité du traitement de l'eau est contrôlée par un suivi des paramètres indicateurs de la corrosion.

- [Diagraphie de contrôle](#)

L'arrêté préfectoral autorisant l'exploitation impose un contrôle régulier de l'état interne des tubages. Cette inspection consiste à mesurer les valeurs minimales et maximales du rayon intérieur du tubage. Elle doit être réalisée tous les 3 ans sur le puits injecteur et au maximum tous les 5 ans sur le puits producteur.

III. La centrale géothermique

La centrale géothermique fait le lien entre la boucle géothermale et le réseau de distribution de chaleur (circuit géothermique). Elle est généralement construite près des têtes de puits lorsque les forages sont de type déviés. On y trouve en général :

- La pompe de réinjection ;
- Les échangeurs de chaleur : L'eau de la boucle géothermale est trop corrosive pour être utilisée directement dans le circuit de distribution, le recours à un échangeur en titane est donc obligatoire. La qualité de l'échangeur se mesure à la différence de température entre l'entrée de la boucle géothermale (aussi appelée température d'exhaure - T_e) et départ de l'eau sur le réseau de chaleur (T_d). Cet écart, appelé « pincement » doit être aussi faible que possible (de l'ordre de 2°C). T_r est la température de retour de l'eau à la centrale géothermique et T_s la température de réinjection de l'eau ;

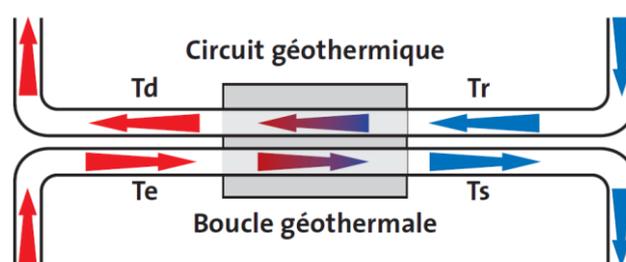


Figure 23 : Echangeur de chaleur de la centrale géothermique

- Les pompes de circulation du réseau de chaleur qui font partie de la boucle géothermique ;
- L'appareillage électrique de commande et de protection des systèmes de pompage ;
- Les régulations de boucle ;
- Les accessoires des boucles géothermale (anti-bélier, décanteur, filtres, dégazeur éventuel, soupapes...) et géothermique (vase d'expansion, soupapes, traitement d'eau...).

- Potentiel thermique d'une opération de géothermie

Le potentiel thermique d'un doublet est caractérisé par son couple Débit/Température d'exhaure et par la puissance qu'il peut fournir. Cette puissance est fonction du débit géothermal et de l'écart entre les températures d'exhaure et de réinjection.

Pour une utilisation optimale de la ressource géothermique, la température de réinjection devra être la plus basse possible. Or cette température est fonction de la température de retour (T_r) du circuit géothermique, qui elle-même dépend du profil thermique des abonnés du réseau, de la température extérieure et de la qualité du transfert de chaleur dans l'échangeur géothermique.

La présence d'équipements utilisant la ressource géothermique à basse température (cf. Figure 10) permet aussi d'abaisser cette température de réinjection. L'emploi de Pompes à Chaleur (PAC) peut également être conseillé pour « épuiser » au maximum la ressource.

- Paramètres clefs d'un réseau géothermique

Afin de facilement mettre en évidence l'influence des émetteurs de chaleur sur la production géothermique et de la nécessité de posséder des systèmes d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) collectifs, nous considérons une opération de géothermie avec les caractéristiques suivantes :

- $T_e = 65\text{ °C}$ et $Q = 280\text{ m}^3/\text{h}$ (caractéristiques proches de celles rencontrées dans l'étude)
- 5 000 logements (non raccordés à un système de production ECS collectif)

- Influence du type d'émetteurs de chaleur

Par ailleurs, les abonnés de ce réseau peuvent être équipés de deux types d'émetteurs de chaleur différents :

- Les Radiateurs (ou radiateurs HT) : Il s'agit des émetteurs de chaleur « traditionnels » et surdimensionnés qui se retrouvent dans l'habitat non rénové. Le régime d'eau de ces émetteurs est de 85 °C en entrée et de 65 °C en sortie par -7 °C de température extérieure.
- Les Planchers Chauffants Basse Température (PCBT) ou Panneaux de sol : Ces termes désignent des émetteurs pouvant fonctionner avec un régime d'eau de 50 °C en entrée et de 40 °C en sortie par -7 °C de température extérieure. Ce type d'émetteurs est particulièrement bien adapté à l'utilisation de la géothermie. Leur présence est essentiellement répandue dans l'habitat neuf ou rénové.

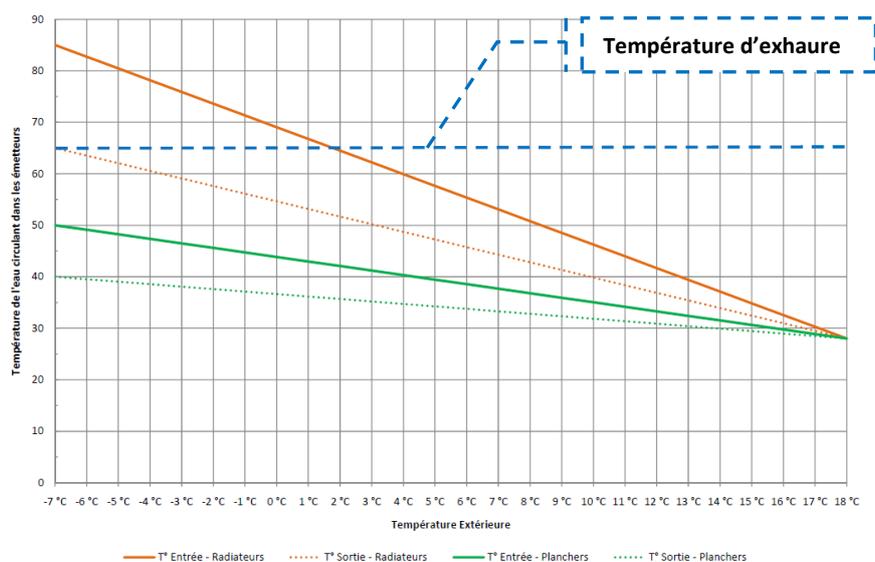


Figure 24 : Régimes de température des planchers chauffants et des radiateurs

Sur le graphique précédent, il peut être constaté aisément qu'avec une température d'exhaure de 65 °C , la géothermie permet d'alimenter les planchers chauffants (sous réserve de disposer d'un débit suffisant). En revanche, cette température est insuffisante pour les radiateurs dès que la température extérieure est inférieure à 2 °C .

D'autre part, quelque soit la température extérieure, la température de sortie des radiateurs toujours est supérieure à la température d'entrée des planchers. Pour cette raison, il est envisageable d'organiser le réseau de distribution de chaleur pour alimenter d'abord les radiateurs puis les planchers (système dit « en cascade »).

Avec une répartition équitable de radiateurs et de planchers chauffants sur le réseau de distribution, nous connaissons la température de retour du circuit géothermique pour chaque température extérieure. Ainsi, nous pouvons déterminer la puissance géothermique de l'opération. En conséquence, il est possible de voir sur la Figure 25 qu'à partir de 8°C, la géothermie peut fournir la totalité des besoins. Ce point est appelé température de transition ou température d'équilibre.

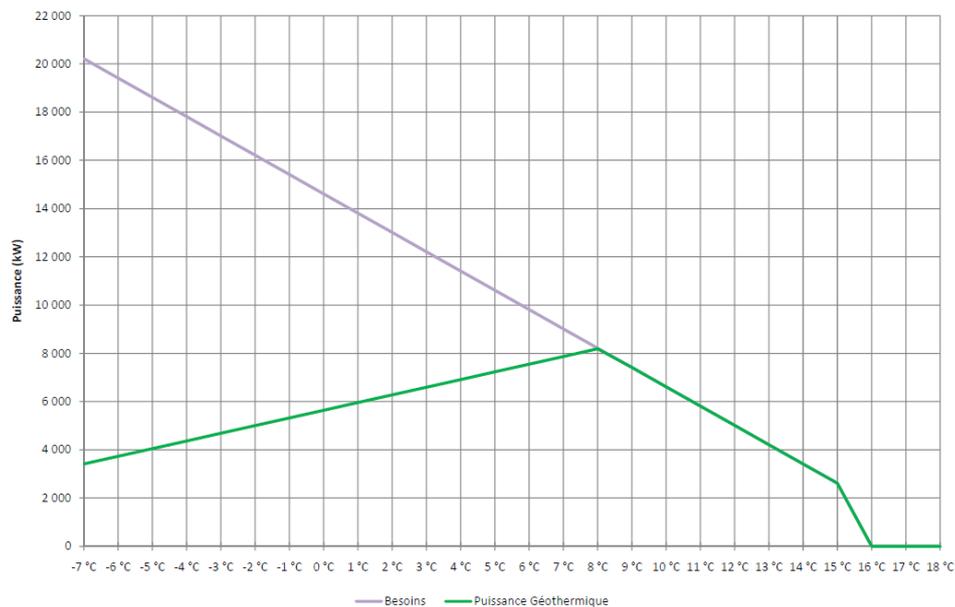


Figure 25 : Puissance Géothermie fournie au réseau avec une égale proportion de radiateurs et de panneaux

En deçà de la température d'équilibre, l'utilisation d'un système d'appoint est obligatoire pour fournir la chaleur aux clients.

Au-delà de la température d'équilibre, il est indispensable d'adapter la puissance fournie par le doublet à la puissance nécessaire. Pour cela, il est installé une régulation qui permet de faire varier les débits des diverses pompes (exhaure, réinjection et distribution) au moyen de variateurs de fréquences. La raison de cette régulation réside dans les frais de fonctionnement liés à l'électricité utilisée pour le pompage.

Le taux de couverture annuel est défini comme étant le rapport de l'énergie géothermale obtenue en sortie de puits sur l'énergie totale produite. Dans l'exemple choisi, l'opération de géothermie aurait un taux de couverture de 70 %. Dans la réalité, le taux de couverture résultant dépendra des proportions respectives de planchers chauffants et de radiateurs, et des caractéristiques du doublet.

- **Importance des systèmes de production d'ECS collective**

La production d'eau chaude est un service qui doit être assuré toute l'année, 365 jours par an. Le dimensionnement adapté des appareils de production au fonctionnement d'un réseau de chaleur géothermique permet de couvrir les besoins ECS tout au long de l'année. Pour une température du réseau géothermique supérieure à 65°C (soit une température d'exhaure de 67°C), 100 % des besoins d'ECS seront couverts par la géothermie, ce qui permet par conséquent d'optimiser le recours à la géothermie et le taux de couverture global.

IV. Organisation du réseau de distribution

Le réseau de distribution a pour but d'amener la chaleur géothermique, éventuellement appointée, aux clients via les sous-stations.

Les canalisations qui constituent ce réseau peuvent être :

- En tube acier calorifugé placé en caniveau
- En tubes pré-isolés, directement enfouis dans le sol. Dans ce cas-là, le matériau constitutif est soit : en fonte, en acier ou en fibre de verre.

Les contraintes de fonctionnement sont généralement une température d'eau inférieure à 110 °C et une pression comprise entre 10 et 16 bars.

Le réseau de distribution d'une géothermie doit être pensé et optimisé de manière à obtenir une température de retour la plus faible possible et ce pour tous les régimes de fonctionnement (notamment par une construction en « cascade »).

- Fonctionnement des sous-stations

Les sous-stations sont généralement implantées au pied des immeubles (dans la chaufferie ou dans un local technique). Suivant les besoins, elles peuvent fournir le chauffage ou le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Dans le premier cas, elles sont équipées d'un échangeur de chaleur qui opère une récupération thermique entre le circuit de distribution et le circuit secondaire (réseau qui alimente localement l'immeuble raccordé).

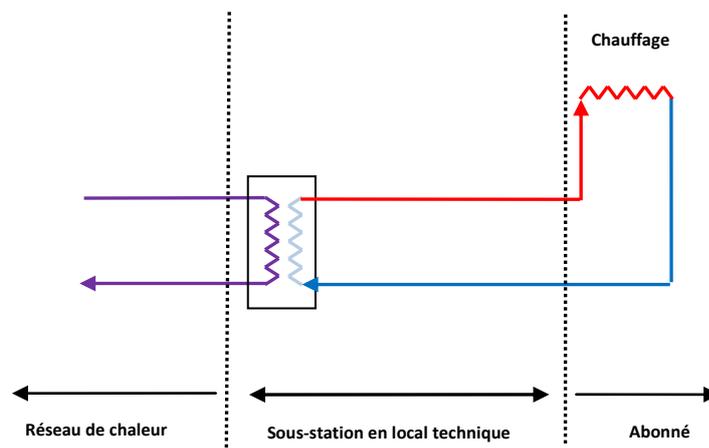


Figure 26 : Schéma-type de fonctionnement d'une sous-station pour le chauffage uniquement

Dans le deuxième cas, en plus de l'échangeur de chauffage, un module de production d'eau chaude sanitaire est installé. Ce module est constitué d'un échangeur placé en dérivation du circuit primaire et qui alimente un système de stockage. Lors des pointes, le puisage s'effectue aussi bien sur l'échangeur que dans le ballon de stockage.

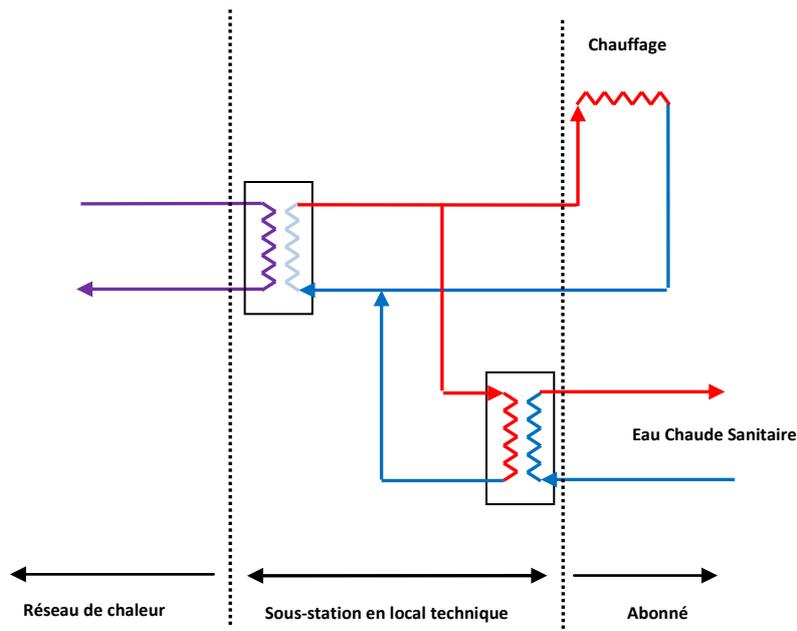


Figure 27 : Schéma-type de fonctionnement d'une sous-station pour le chauffage et la production d'ECS

Comme il l'a été précédemment montré, il convient d'« épuisier » au maximum la ressource géothermique. Il est donc intéressant d'organiser le réseau de distribution de manière à alimenter d'abord les sous-stations des installations équipées de radiateurs puis, en cascade, les installations équipées de planchers.

Dans le cas où des sous-stations desservies en cascade après des installations équipées de radiateurs, possèdent une production d'eau chaude sanitaire, il y aura lieu de passer un troisième tube à haute température garantissant un niveau de température suffisant pour permettre la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage.

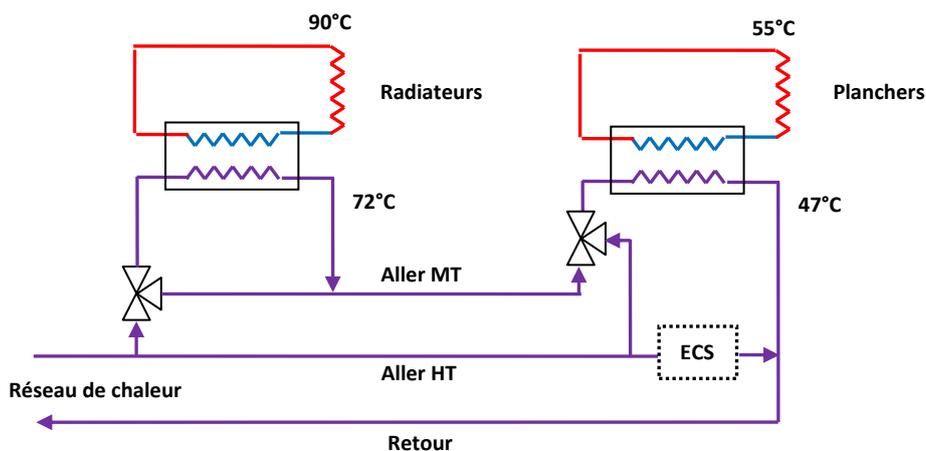


Figure 28 : Schéma de fonctionnement d'une "cascade" de sous-stations

- Intégration des systèmes d'appoint-secours

Les systèmes d'appoint sont indispensables sitôt que la température extérieure devient inférieure à la température d'équilibre. Il est donc nécessaire d'injecter de la chaleur complémentaire sur le réseau. D'autre part, il convient de prévoir un système de secours en cas d'indisponibilité de la ressource géothermique. L'intégration de ces dispositifs au réseau de distribution est similaire qu'ils soient pour l'appoint ou le secours. Les systèmes ne sont prévus pour fonctionner qu'un nombre d'heures limité et la chaleur produit peut être produite de deux façons :

- Partiellement par des pompes à chaleur puis le complément par des chaudières,
- Totalement par des chaudières.

- Les Pompes A Chaleur (PAC)

L'installation de pompes à chaleur (PAC) a pour objet une meilleure utilisation de la ressource géothermique par abaissement de la température de réinjection et élévation de la température du réseau après passage dans les échangeurs de tête de puits. Plusieurs raccordements hydrauliques des évaporateurs et des condenseurs peuvent être envisagés :

- Le fluide géothermique après passage dans les échangeurs de tête de puits traverse un second échangeur qui est alimenté au secondaire par un réseau parcourant les évaporateurs des pompes à chaleur. Les retours du réseau de chaleur traversent d'abord les secondaires des échangeurs tête de puits puis les condenseurs des pompes à chaleur.
- Les retours du réseau de chaleur traversent les évaporateurs des pompes à chaleur avant d'alimenter les secondaires des échangeurs tête de puits puis de traverser les condenseurs des pompes à chaleur (cf. Figure 29). Cette solution sera retenue pour l'évaluation des variantes avec PAC dans la suite de l'étude.

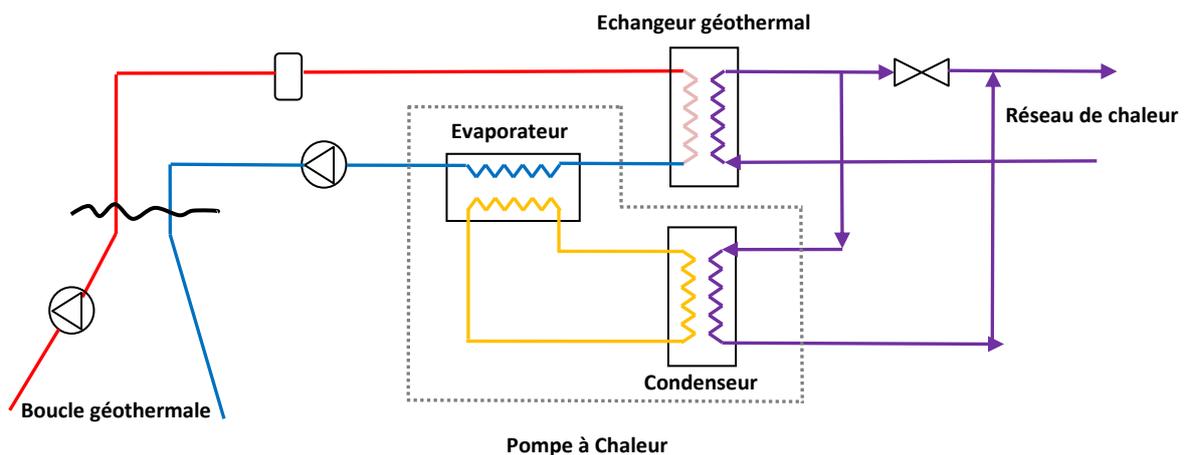


Figure 29 : Schéma d'intégration de pompes à chaleur sur un réseau géothermique

Dans le cas de plusieurs pompes à chaleur, ces dernières peuvent être installées en série ou en parallèle. Elles sont généralement installées à proximité de la centrale géothermique et sont dimensionnées pour effectuer une partie de l'appoint, le complément étant réalisé par des chaudières.

- Les chaudières

Que le réseau de distribution intègre, ou non, des pompes à chaleur, il est nécessaire de disposer d'un appoint de chaleur complémentaire par chaudière. L'appoint peut se faire de 3 manières différentes :

- Par appoint décentralisé : Dans cette solution, les chaufferies raccordées au réseau de chaleur sont conservées. Le réseau de chaleur délivre la chaleur de base d'origine géothermique et les chaudières délivrent la chaleur complémentaire dans la sous-station. Cette solution présente l'inconvénient de la multiplicité des régulations de chaufferies sur le réseau et une plus grande difficulté à maîtriser les températures de retour à la centrale. Cependant, l'investissement, dans ce cas de figure, est limité. Cette solution présente un intérêt lors des raccordements d'ensembles existants avec un nombre limité de chaufferies.

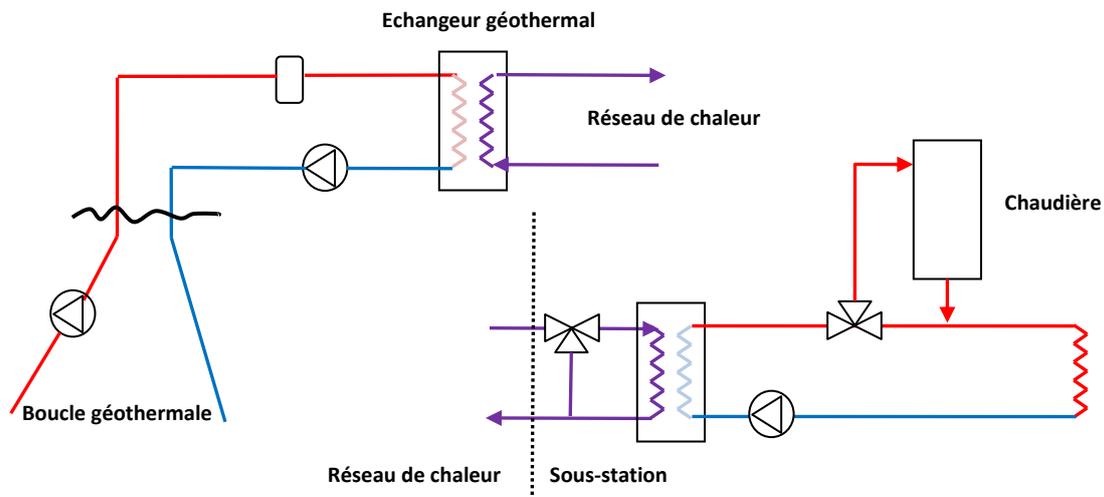


Figure 30 : Schéma d'intégration d'un appoint décentralisé sur un réseau de chaleur

- Par appoint semi-centralisé : Certains sites peuvent être équipés de chaufferies surdimensionnées pour les ensembles qu'elles desservent. La solution consiste à adapter ces chaufferies afin qu'elles soient en capacité de fournir un appoint et un secours directement sur le réseau pour des abonnés situés en aval de la chaufferie.

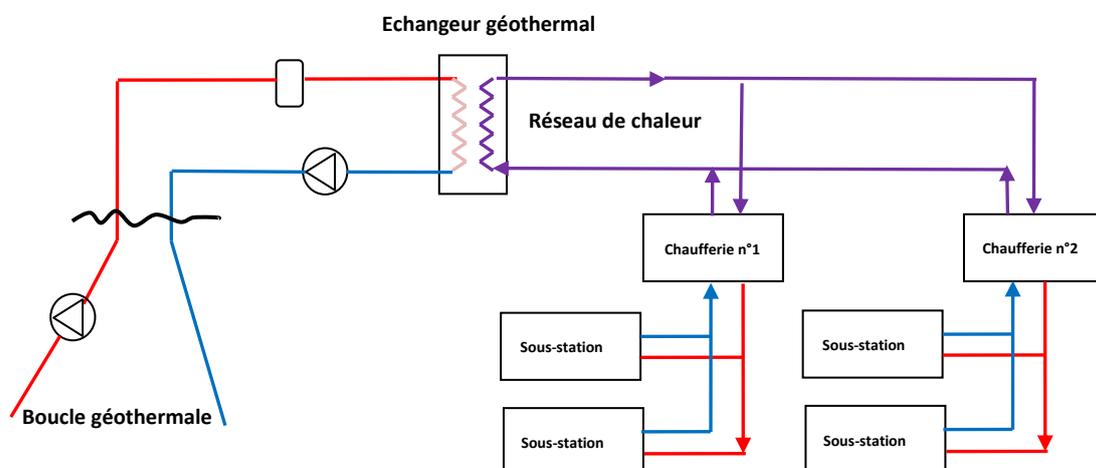


Figure 31 : Schéma d'intégration d'un appoint semi-centralisé sur un réseau de chaleur

- Par appoint centralisé : C'est la solution la mieux adaptée à la conduite d'un réseau de chaleur à base géothermique. La chaufferie peut être une chaufferie existante de taille suffisante, ou plus généralement, une nouvelle chaufferie qui couvre tous les besoins du réseau. Cela impose aussi l'abandon de toutes les chaudières dans les anciennes chaufferies transformées en sous-stations. Cette solution permet une gestion technique et économique performante. Cependant la réalisation d'une chaufferie centralisée nécessite un investissement important.

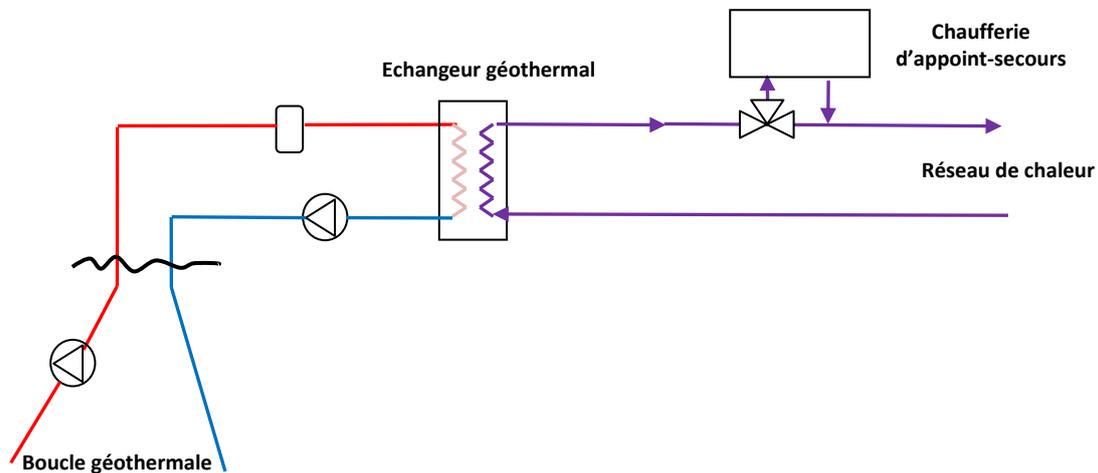


Figure 32 : Schéma d'intégration d'un appoint centralisé sur un réseau de chaleur

V. Adaptabilité d'un réseau existant à une opération de géothermie

Il existe deux grands types de réseaux de chaleur (le cas de la vapeur, spécifique au réseau de la CPCU n'est pas traité) :

- Les réseaux de chaleur en eau surchauffée

Ces réseaux sont répandus et sont fréquemment complétés par des cogénérations avec turbines à gaz. En pratique, les températures de fonctionnement sont comprises entre 160 et 200 °C au départ de la centrale et de 100 à 130 °C au retour.

En l'état, les réseaux d'eau surchauffée sont incompatibles avec la géothermie et ce, même avec les meilleurs ressources du Dogger. Il est donc indispensable d'abaisser les températures de fonctionnement du réseau à des valeurs inférieures à 100°C, ce qui nécessite :

- Le remplacement des échangeurs en sous-stations ;
- Le remplacement, au moins partiel, du réseau de distribution ; le diamètre des canalisations devenant insuffisant pour véhiculer les nouveaux débits ;
- Le remplacement des pompes de circulation en chaufferie.

La faisabilité d'une telle opération est à étudier au cas par cas, en fonction de la qualité de la ressource et de l'importance des travaux d'adaptation. Il ne faut toutefois pas négliger les possibilités de création « d'une boucle d'eau chaude » sur une partie du périmètre d'un réseau d'eau surchauffée existant ou sur une extension de son périmètre, la boucle d'eau chaude étant alimentée par la géothermie et appointée par le réseau d'eau surchauffée.

- Les réseaux de chaleur « eau chaude » ou « basse température »

Ces réseaux sont moins nombreux que les réseaux en eau surchauffée et sont souvent complétés par des cogénérations (par moteur ou turbines à gaz).

Les températures de fonctionnement de ces réseaux (inférieure à 105°C) les rendent, a priori, compatibles avec la ressource géothermique. Cependant, quelques modifications sont en général nécessaires pour optimiser les températures de retour : mise en place de pompes à débit variable, adaptation des sous-stations d'échange et des systèmes de production d'ECS, création de cascades entre les abonnés « Haute Température » et ceux à « Basse Température ».

- Cas des réseaux sans cogénération

Le cas est, a priori, très favorable pour l'adaptabilité à la géothermie. Le résultat sera fonction des paramètres habituels (cf. Méthode de criblage pour de nouvelles opérations de géothermie profonde) et devrait présenter une faisabilité intéressante pour une opération de plus de 4 000 logements.

- Cas des réseaux avec cogénération

En raison des conditions de rachat de l'électricité, la cogénération fonctionne en priorité pendant les 5 mois d'hiver, période où la géothermie n'est donc utilisée que comme énergie secondaire. Ce qui fait que la récupération géothermique est marginale en hiver et limitée à la seule production d'ECS en été. Dans ces conditions, la viabilité d'une opération de géothermie est incertaine.

Toutefois, l'échéance des contrats de cogénération et la nécessité pour un maître d'ouvrage ou d'un opérateur de réétudier les conditions de recours à un nouveau contrat de cogénération présentent une opportunité d'analyse sur la faisabilité d'intégration de la géothermie dans le mix énergétique du réseau de chaleur. Et ainsi redéfinir des conditions de coexistence entre la cogénération et la géothermie :

- Ajustement de la puissance de la centrale de cogénération ;
- Possibilités de développement de l'opération ;
- ...

B. Historique de la géothermie francilienne

Le développement de la géothermie profonde dans le Bassin de Paris a été marqué par sept phases, des années 60 à aujourd'hui, décrites ci après.

- Les années 60 : Avant le premier choc pétrolier

Après une première tentative infructueuse de captage de l'aquifère du Dogger, le premier doublet géothermique de chauffage urbain est achevé avec succès en 1969, sur le site de Melun l'Almont. L'eau géothermale du Dogger a été découverte au cours de l'exploration pétrolière du bassin de Paris, au cours des années 50.

- 1973-78 : 1^{er} choc pétrolier

Grâce à une politique énergétique nationale cherchant une alternative aux hydrocarbures, le développement de la géothermie profonde commence avec la réalisation de quatre doublets géothermiques de chauffage urbain, dont trois (à Creil et au Mée sur Seine) combinant des forages de production et d'injection verticaux et un (à Villeneuve la Garenne) avec des forages déviés réalisés en fibre de verre. En 1978, un décret vient encadrer l'exploitation de la géothermie profonde dans le cadre du Code Minier. Il définit les règles d'attribution des permis de recherches et d'exploitation des réservoirs géothermiques, considérés comme des mines de chaleur.

- 1979-1986 : 2nd choc pétrolier

Cette période correspond à la principale phase de réalisation de doublets géothermiques dans le bassin de Paris. Cinquante et un doublets ont été forés, dont cinquante dans le Dogger et un réservoir gréseux du Trias à Melleray (45). La filière se structure avec la création du Comité Géothermie, du fonds de garantie de la SAF Environnement (filiale de la CDC), de l'AFME (devenue ADEME), de Géochaleur et de l'AGÉMO. Le taux de réussite fût élevé. Seuls deux doublets furent classés en échec partiel par le Comité Géothermie, et bénéficièrent alors de la garantie court terme de la SAF.

- 1986-1989 : L'après choc pétrolier, des débuts difficiles

La plupart des doublets rencontrèrent durant les premières années de fonctionnement de nombreux problèmes d'exploitation. La chimie de l'eau, très agressive entraîna des phénomènes de corrosion des tubages en acier et la formation de dépôts obstruant les tubages. Par ailleurs les équipements conventionnels (pompes et colonnes de production) montrèrent de sérieux problèmes de fiabilité (durée de vie inférieure à un an). Enfin, l'inexpérience des premières années d'exploitation des réseaux géothermiques, couplée à une situation économique défavorable (chute du cours du pétrole, baisse des taux d'intérêts) mirent en danger certaines exploitations. A la fin des années 80, les premières tentatives d'inhibition des phénomènes de corrosion/dépôts furent menées.

- 1990-1996 : Maitrise de l'exploitation et renégociation de la dette

En 1990, devant les risques de fermetures de plusieurs doublets, la Mission Brosse conduit la majorité des exploitations géothermiques à renégocier leur dette. Ils ont notamment bénéficié d'une baisse des taux d'intérêt et d'un rééchelonnement des remboursements. Le fond de garantie long terme de la SAF est abondé de manière à faire face aux coûteuses opérations de restauration des doublets.

Les techniques de préventions des phénomènes de corrosion/dépôts se perfectionnent. Elles offrent alors des résultats remarquables, en diminuant significativement les cinétiques d'endommagement des forages. Néanmoins certains doublets, victimes de dégâts matériels ou financiers irréversibles, sont abandonnés et cimentés au début des années 90. Un seul forage est réalisé au cours des années 90. Il s'agit d'un nouveau puits producteur à Melun l'Almont. En alternative aux traitements contre la corrosion/dépôt, l'ouvrage dispose d'un tubage producteur amovible en fibre de verre, inerte vis-à-vis de l'eau géothermale. C'est à ce jour le seul ouvrage de ce type existant.

- 1997-2006 : Nouveaux défis

Le chauffage urbain géothermique est devenu une technologie maîtrisée dans le bassin de Paris. Les risques d'exploitation sont maîtrisés, et les coûts de maintenance et d'entretien lourds sont contrôlés. Sur les cinquante-quatre doublets forés au Dogger depuis les années 60, trente quatre sont toujours en exploitation.

Cependant la géothermie est fragilisée par l'ouverture de la production électrique aux opérateurs indépendants. En effet, la cogénération est jugée susceptible d'améliorer l'équilibre financier des réseaux géothermiques, voire dans certains cas, d'éviter leur abandon. En contrepartie, la cogénération réduit considérablement la part de l'énergie géothermique sur le réseau, souvent au détriment de la qualité des ouvrages.

- Depuis 2007 : Le renouveau

En 2007, après douze années sans forage géothermique profond, la réalisation d'un nouveau doublet à Orly Nouvelet marque la reprise de la filière. Il sera suivi par la conversion en triplet du doublet de Sucy en Brie et par la première nouvelle opération de géothermie, à Paris – Porte d'Aubervilliers. Début 2010, Aéroport de Paris fait réaliser un nouveau doublet à Orly, et plusieurs demandes de permis de recherche sont actuellement instruites par la DRIEE.

C. Bilan des opérations existantes en Seine-Saint-Denis

I. Emprise en surface des réseaux de chaleur en Seine-Saint-Denis

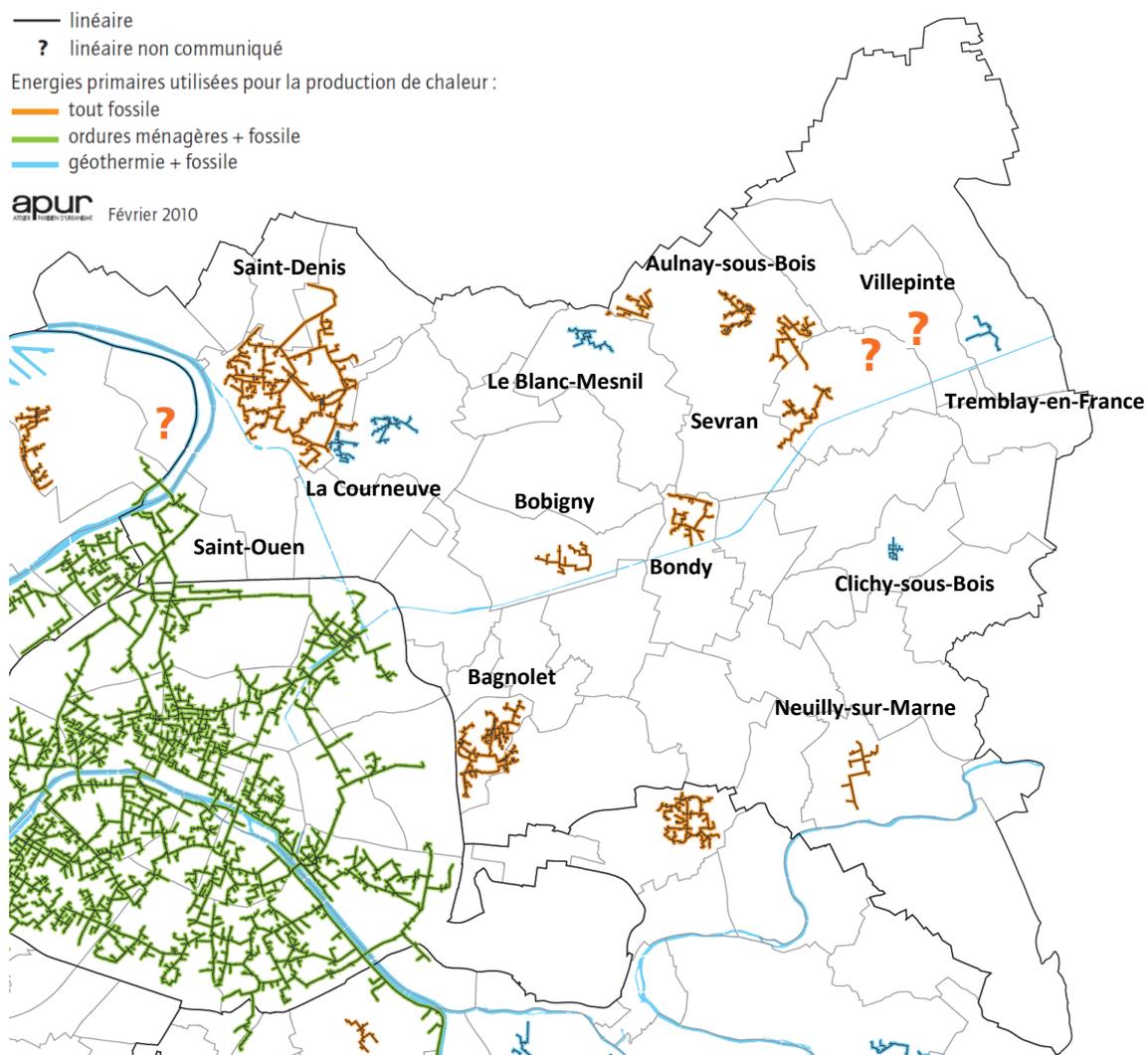


Figure 33 : Emplacement des réseaux de chaleur de Seine-Saint-Denis – Carte établie par l'APUR

La Seine-Saint-Denis possède 20 réseaux de chaleur sur son territoire. 16 d'entre eux sont représentés sur la carte ci-dessus, les 4 manquants (Aubervilliers, Le Bourget, Les Lilas, Saint-Denis Sésas) sont de trop petite taille pour être dessinés.

La majorité des réseaux se situent au nord du canal de l'Ourcq et plutôt vers l'Est du département. Les 5 réseaux géothermiques (indiqués en bleu) se trouvent à La Courneuve (2 doublets), Le Blanc-Mesnil, Clichy-sous-Bois et Tremblay en France, le reste étant des réseaux à des énergies fossiles (Fioul, Gaz ou Charbon).

Enfin, il est à noter que la commune de Saint-Ouen est traversée par le réseau de la CPCU et possède même deux centrales de production dans le quartier des Docks.

II. Emprise sous-sol des réseaux géothermiques

En Seine Saint Denis, sur les neuf opérations de géothermie qui ont vu le jour dans les années 80, seules 5 ont subsisté. Sept opérations limitrophes améliorent la connaissance locale de la ressource. Il s'agit des doublets en exploitation de Villiers-le-Bel Gonesse, Chelles, Champigny-sur-Marne, Paris Nord Est (2009) et les doublets fermés de Villeneuve la Garenne, Garges-lès-Gonesse, Paris La Villette.

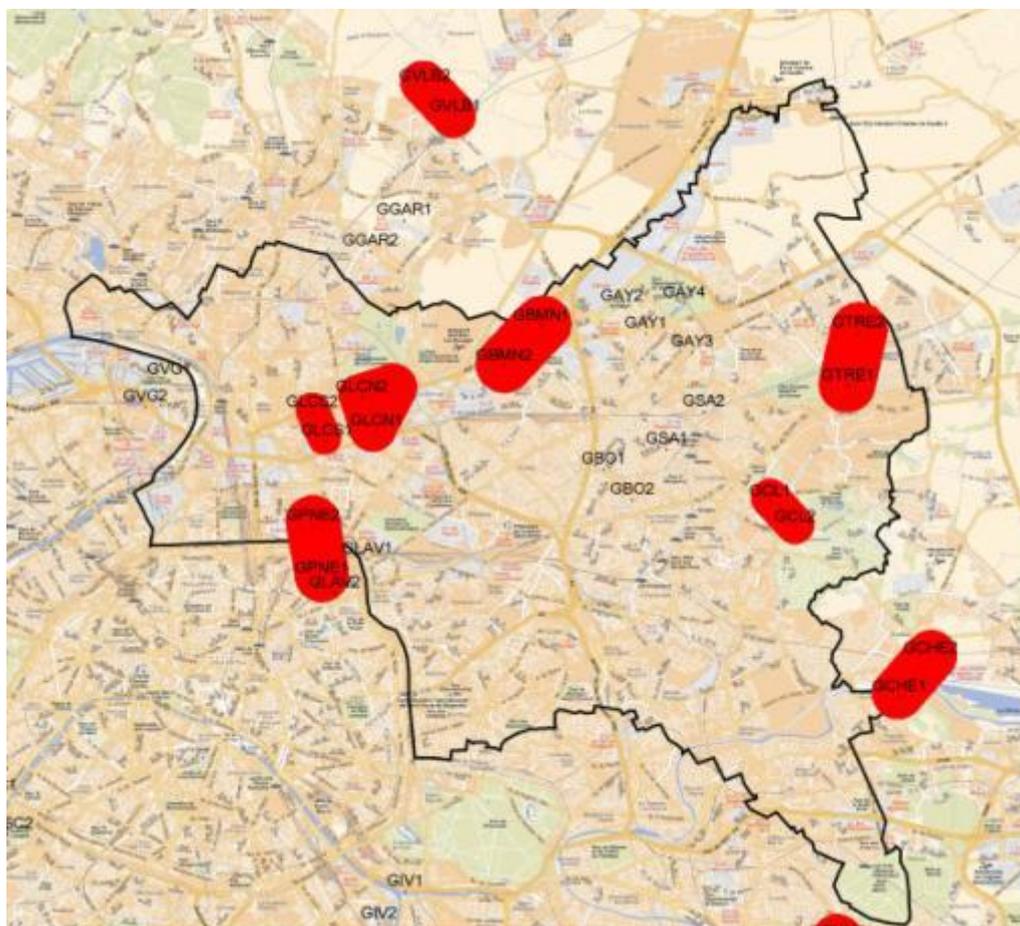


Figure 34 : Les opérations de géothermie profonde en Seine-Saint-Denis.
En rouge, les périmètres d'exploitation en cours (à l'horizon 2011-2012 pour la Courneuve Nord)

Opération	Dénomination sur la carte	Mise en service	Etat
Aulnay Gros Saule	<i>GAY 3 et 4</i>	<i>1984</i>	<i>Arrêt 1989</i>
Aulnay Rose des Vents	<i>GAY 1 et 2</i>	<i>1982</i>	<i>Arrêt 1990</i>
Bondy	<i>GBO1 et 2</i>	<i>1984</i>	<i>Arrêt 1990</i>
Clichy sous Bois	<i>GCL1 et 2</i>	<i>1982</i>	<i>En service</i>
La Courneuve Nord	<i>GLCN 1 et 2</i>	<i>1983</i>	<i>En service</i>
La Courneuve Sud	<i>GLCS 1 et 2</i>	<i>1982</i>	<i>En service</i>
Le Blanc-Mesnil	<i>GBMN 1 et 2</i>	<i>1983</i>	<i>En service</i>
Sevran	<i>GSA 1 et 2</i>	<i>1983</i>	<i>Arrêt 1990</i>
Tremblay en France	<i>GTRE1 et 2</i>	<i>1984</i>	<i>En service</i>

Figure 35 : Tableau des opérations de géothermie au Dogger dans le département de Seine-Saint-Denis.

III. Bilan Technique des forages

Les interventions de réhabilitation (workover de nettoyage, de rechemisage, ...) ou de remédiation en vue de restaurer la productivité d'un puits ont été répertoriées sur les doublets actuellement en exploitation depuis la mise en fonctionnement. Les montants considérés sont les valeurs moyennes actuelles pour chaque type d'intervention avec pour objectif d'illustrer les tendances sur les périodes de fonctionnement avec ou sans traitement inhibiteur. Le mode de production du doublet (par pompage ou artésien) est précisé.

De cet inventaire se dégagent des tendances liées à l'évolution des technologies d'exploitation (cf. Figure 36) :

1 – La mise en service des traitements inhibiteur en fond de puits a considérablement diminué la fréquence des opérations lourdes de réhabilitation et les coûts d'exploitation (remplacement/maintenance des équipements)

2 – En mode de production artésienne, la fréquence d'intervention sur les puits augmente.

Après plusieurs prototypes développés entre 1989 et 1991, les dispositifs de traitement en fond de puits ont maintenant acquis une excellente fiabilité.

En parallèle du traitement chimique en fond de puits, d'autres évolutions ont permis d'améliorer la fiabilité des exploitations. Ainsi, les matériaux des pompes immergées et colonnes de production ont été adaptés. En effet, si durant les premières années d'exploitation, la durée de vie des pompes dans l'eau géothermale pouvait être inférieure à une année, les pompes actuelles sont capables de fonctionner cinq ans, soit l'intervalle maximal entre deux diagraphies réglementaires.

De même, les colonnes de production sont aujourd'hui revêtues d'un film de caoutchouc qui isole l'acier de l'eau géothermale.

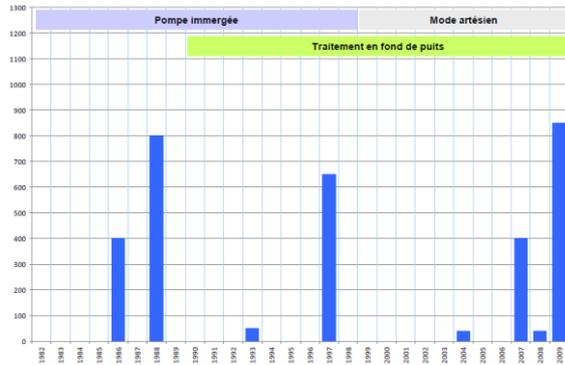
Enfin, l'expérience a montré que les opérations de réhabilitation lourde sont plus risquées dans un forage présentant une forte déviation.

Ce bilan technique réalisé à partir de retours d'expériences concrets et menés depuis plus de 20 ans permettent d'établir un certain nombre de conditions indispensables à respecter lors de la réalisation de nouveaux forages :

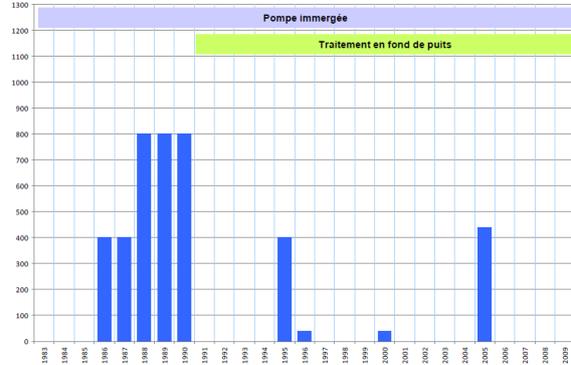
- Les doublets sont réalisés à partir d'une même plateforme et les deux forages déviés selon un angle moyen de 30 à 35° environ ;
- Les tubages de production sont en diamètre 13^{3/8} et 9^{5/8} et les tubages d'injection sont en diamètres 9^{5/8}, diamètres qui autorisent un rechemisage ultérieur ;
- Les nouveaux forages bénéficient d'un traitement inhibiteur en fond de puits dès la mise en service de l'exploitation, a contrario des anciens ouvrages qui ont subi une difficile période d'apprentissage jusqu'au début des années 90.

Figure 36 : Fréquences et montants actualisés des opérations de réhabilitation / remédiation des doublets en exploitation en Seine Saint-Denis (prix actualisés en k€ HT)

Clichy sous Bois



La Courneuve Nord



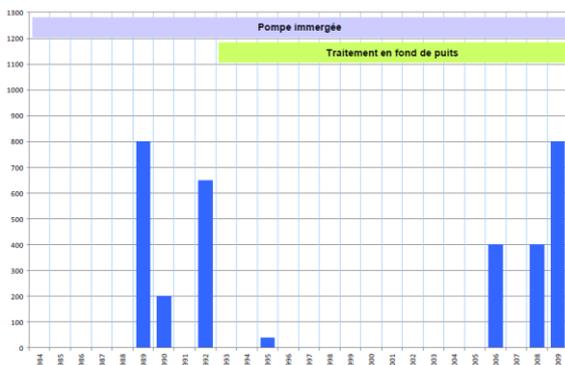
La Courneuve Sud



Le Blanc Mesnil



Tremblay-en-France



IV. Bilan Energétique

Cette partie a pour objectif de réaliser un parallèle entre les performances énergétiques des réseaux de chaleur géothermique de Seine-Saint-Denis avec les autres réseaux de chaleur à énergie fossile. Les données représentées proviennent directement des exploitants des réseaux et ont été recoupées avec l'annuaire « Via Séva » 2010. Les données pour les réseaux de chaleur de la ZAC de Sevrans et de Villepinte n'ont pas pu être obtenues.

- Taille des réseaux de chaleur

Le tableau ci-dessous présente le nombre d'équivalent-logement raccordés par les différents réseaux de chaleur de Seine-Saint-Denis. Le terme « Equivalent-logements » n'est pas normalisé mais il permet d'estimer la consommation d'un bâtiment (hors logement).

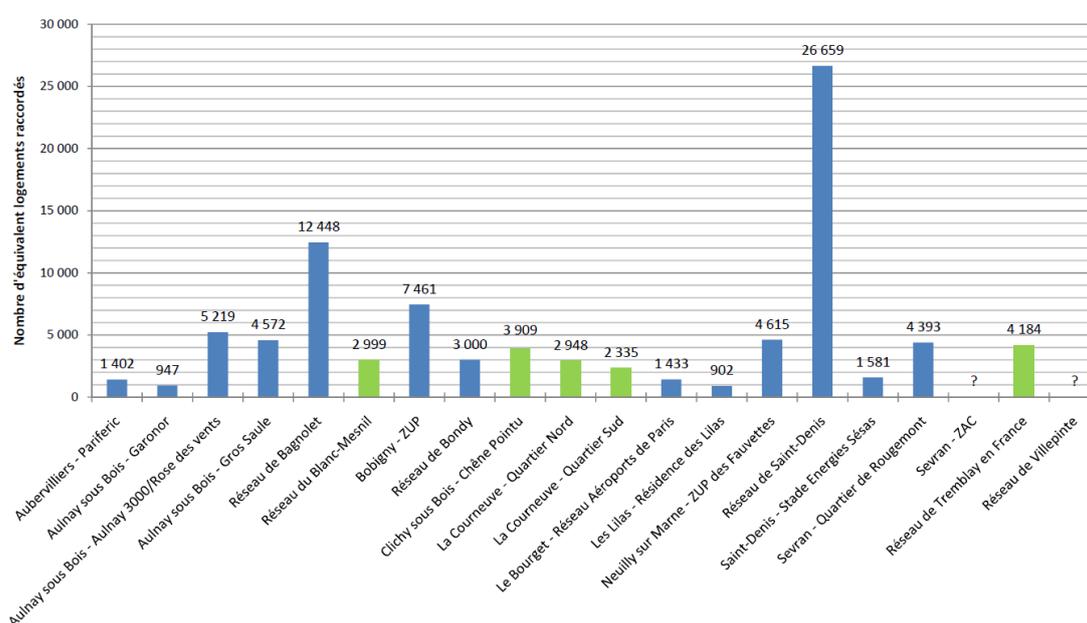


Figure 37 : Nombre d'équivalent-logements des réseaux de chaleur de Seine-Saint-Denis.

Sur l'ensemble du département, 91 007 équivalent-logements sont raccordés à un réseau de chaleur et 16 375 (soit 18 % du total) sont alimentés par un réseau utilisant de l'énergie géothermale.

La taille des réseaux de Seine-Saint-Denis est très variable. Nous avons deux réseaux importants (Saint-Denis et Bagnollet), puis une douzaine de réseaux de moyenne importance (entre 2 500 et 7 500 équivalent-logements raccordés) et 5 réseaux de « petite » taille (à l'échelle d'un quartier).

	Réseaux avec Energies Fossiles (13 réseaux)	Réseaux avec Géothermie (5 réseaux)
Nombre moyen d'Eq-Log raccordés par réseau	5 470	3 275
Longueur moyenne d'un réseau (km)	7,6	3,3
Densité moyenne d'un réseau (Nb Eq-Log / km)	750	1 000

Figure 38 : Tableau comparatif des caractéristiques des réseaux de chaleur "Fossiles" et "Géothermiques" du département

Par rapport aux réseaux fossiles du département, les réseaux utilisant la géothermie sont certes de petite taille (moins d'abonnés et moins étendus) mais ils sont plus denses. Le nombre moyen d'équivalents-logements raccordés à un réseau de chaleur géothermique est d'environ 3 300. Comparativement, dans le département du Val-de-Marne, ce chiffre est d'environ 9 000 équivalents-logements... Nous nous situerons entre ces caractéristiques pour déterminer de nouvelles opérations de géothermie en Seine-Saint-Denis.

- Consommation énergétique de l'équivalent-logement

La consommation énergétique moyenne de l'équivalent-logement du département pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (quelque soit l'énergie consommée par le réseau) est d'environ 12 MWh/an. Cette valeur traduit les caractéristiques thermiques du parc immobilier raccordé aux réseaux de chaleur. Le parc immobilier raccordé est donc ici majoritairement des logements collectifs construits entre les années 50 et 70 avec des déperditions thermiques significatives.

Cependant, compte-tenu du fait que de nombreux réseaux sont concernés par des plans de rénovation urbaine et que des bâtiments « récents » peuvent être raccordés, la consommation moyenne de l'équivalent-logements sera amenée à baisser.

- Bouquet Energétique

Le diagramme ci-dessous présente les ventes de l'ensemble des réseaux de chaleur de Seine-Saint-Denis en 2008. Plus de 75 % de la chaleur vendue provenait de Gaz soit directement, soit issu d'une cogénération. Les 25 % restants sont répartis entre 5 énergies : Charbon, Géothermie, Fioul, Electricité et Biomasse. Il est à noter que le Charbon, l'Electricité et la Biomasse sont uniquement utilisés par le réseau de chaleur de Bagnolet. Au niveau départemental, l'énergie géothermique représente donc 7,5 % (environ 80 000 MWh en 2008) de la chaleur vendue par les réseaux de chaleur.

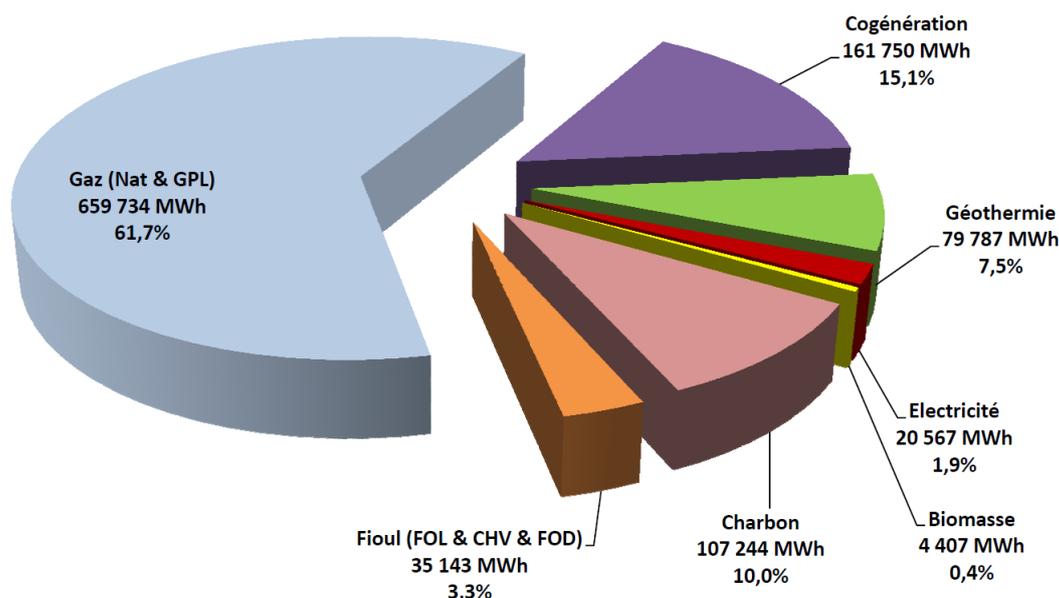


Figure 39 : Bouquet Energétique des ventes de chaleur en Seine-Saint-Denis en 2008.

Concernant les bouquets énergétiques des réseaux de chaleur sur le graphique suivant :

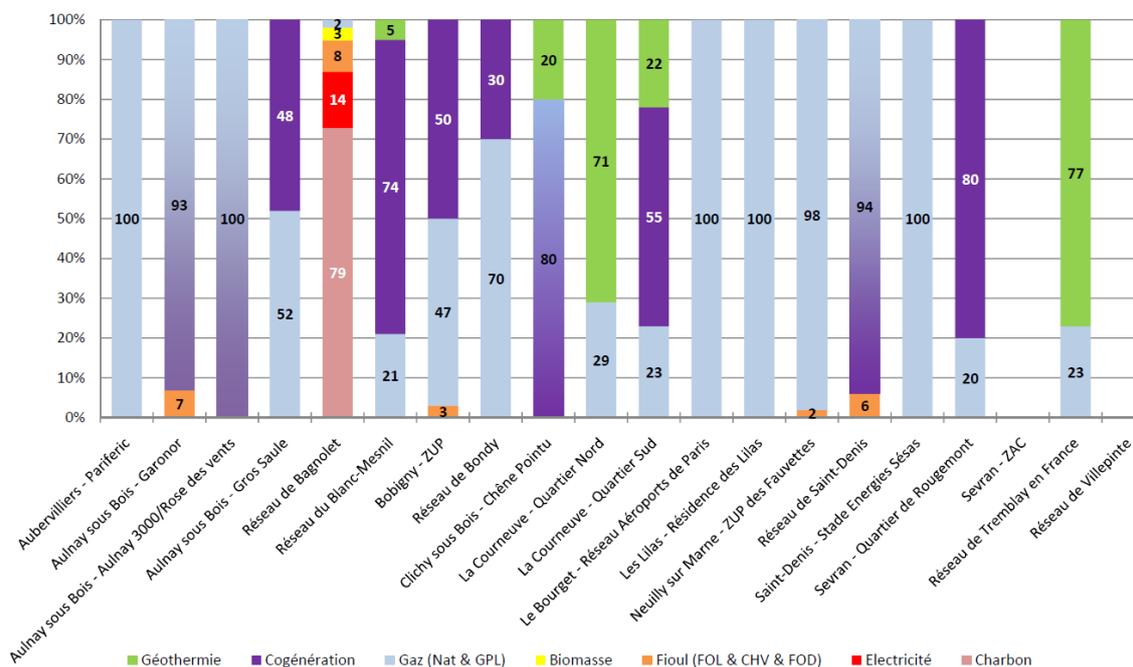


Figure 40 : Bouquets Energétiques des réseaux de chaleur de Seine-Saint-Denis.

■ Réseaux fossiles

Pour les « petits » réseaux (Aubervilliers, Le Bourget, Les Lilas, Saint-Denis Sésas), l'énergie utilisée pour produire la chaleur est exclusivement du gaz sans cogénération.

A l'exception des réseaux de Bagnolet et de Neuilly-sur-Marne, tous les autres réseaux utilisent un système de cogénération au gaz. Pour une grande partie de ces réseaux, les contrats de rachat de l'électricité issue de la cogénération arrivent à échéance au cours de la période 2011-2015. Sur les réseaux de taille « moyenne », la renégociation de ces contrats de cogénération peut conduire à l'étude de faisabilité de recours à la géothermie.

■ Réseaux géothermiques

Sur les 5 réseaux géothermiques du département, trois possèdent un système de cogénération (Le Blanc-Mesnil, Clichy-sous-Bois et La Courneuve-Sud). Ces trois réseaux utilisent la géothermie comme une énergie secondaire, laissant la priorité aux installations de cogénération. Cette priorité s'explique simplement par les contraintes de fonctionnement imposées aux cogénérations gaz pour bénéficier des tarifs de rachat de l'électricité. Pour cette raison, le taux de couverture de la géothermie sur ces réseaux n'excède pas 25 %. Il sera noté que la géothermie de ces réseaux fonctionne par artésianisme, c'est-à-dire sans pompe immergée.

Sur les deux derniers réseaux géothermiques (La Courneuve-Nord et Tremblay-en-France), aucune installation de cogénération n'est présente. La géothermie est donc utilisée comme énergie de base, ce qui explique les taux de couverture de ces réseaux, respectivement à 71 et 77%. Comme ces valeurs sont supérieures au seuil des 50% d'énergies renouvelables (cf. Contexte environnemental, réglementaire et économique), les abonnés de ces réseaux de chaleur bénéficient d'une T.V.A. à 5,5% sur l'abonnement et sur leurs consommations.

V. Bilan Environnemental

L'analyse des performances environnementales est basée sur les arrêtés donnant les quotas d'émissions et les contenus en CO₂ des réseaux de chaleur.

- Quotas d'émissions de CO₂

Dans l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre définis par le protocole de Kyoto, l'Union Européenne a mis en place un système communautaire d'échange de quotas en 2005. Il consiste à attribuer des quotas d'émission aux entreprises les plus fortement émettrices de gaz à effet de serre qui peuvent ensuite, soit revendre les quotas d'émission qu'elles n'ont pas consommés ou, au contraire, acheter les quotas d'émission dont elles ont besoin pour respecter leur dotation initiale.

Ce système d'échange s'applique notamment aux installations de production de chaleur (d'une puissance de combustion supérieure à 20 MW) qui équipent les réseaux de chaleur. Ce sont les exploitants qui sont chargés de mettre en œuvre les moyens nécessaires au respect des quotas. La Figure 41 donne l'allocation en CO₂ sur la période 2008-2012 (Plan National d'Allocation des Quotas sur la 2^e période – PNAQ II) pour les réseaux de Seine-Saint-Denis.

Il est intéressant de remarquer que les réseaux de chaleur de petite taille et ceux qui utilisent de la géothermie sont exempts de quotas. Tout simplement car la puissance de leurs installations de combustion est inférieure à 20 MW. Par contre, les autres réseaux devront faire des efforts pour limiter leurs émissions de gaz à effet de serre.

Le volume d'émissions accordé par la PNAQ II est actuellement de 138,2 MtCO₂, cette valeur sera revue à la baisse sur la prochaine période (2013-2020), ce qui réduira la marge de manœuvre des exploitants. Les estimations du coût d'achat de la tonne de carbone se situent entre 18 et 30 €/tonne en 2012 et entre 30 et 45 €/tonne en 2020...

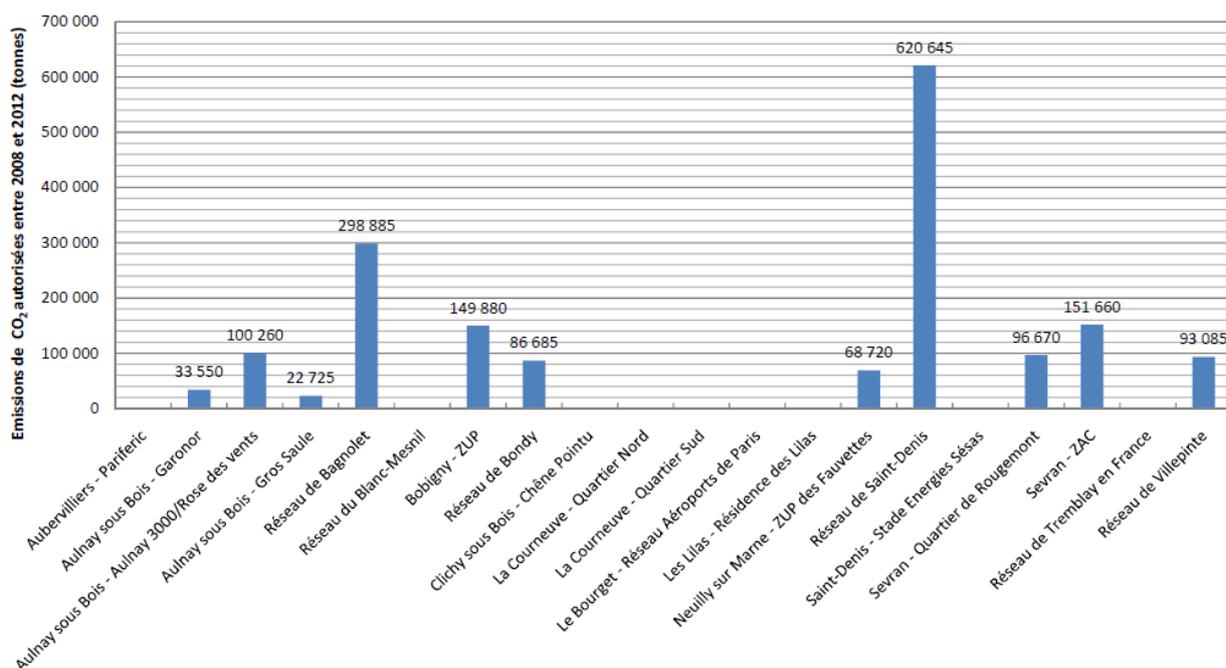


Figure 41 : Quotas d'émissions accordés aux réseaux de chaleur de Seine-Saint-Denis sur la période de 2008 à 2012 – Arrêté du 31 mai 2007

Contenu en CO₂ des réseaux de chaleur du département

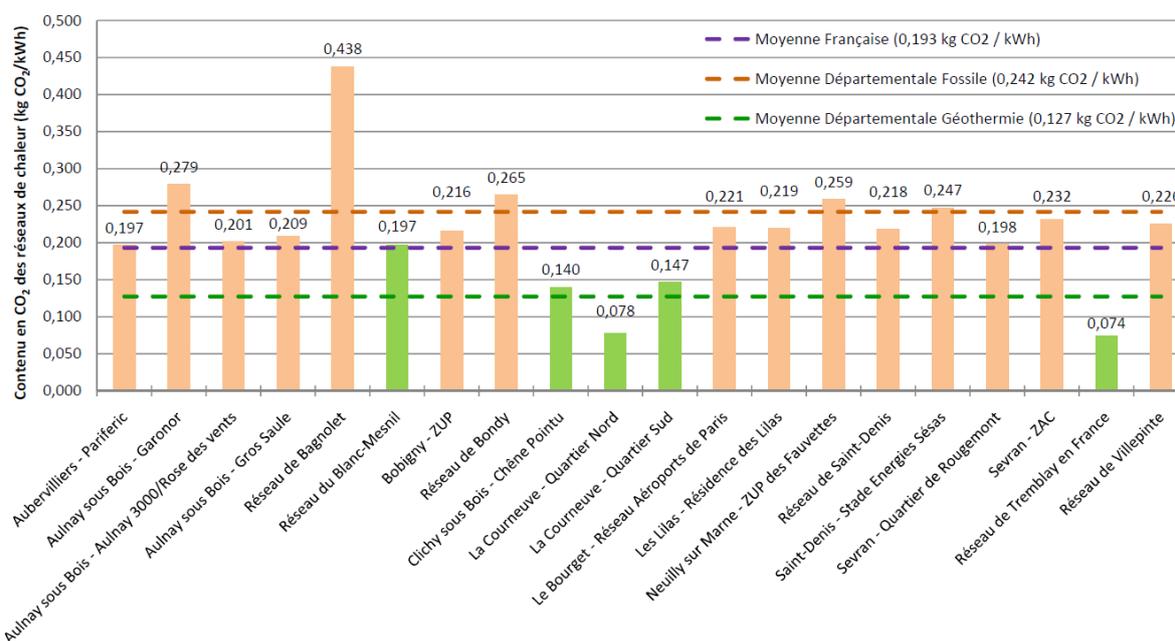


Figure 42 : Contenu en CO₂ des réseaux de chaleur de Seine-Saint-Denis (Arrêté du 4 mai 2009 - sauf Bondy et Bagnolet)

Le contenu en CO₂ des réseaux de chaleur traduit le mix énergétique qui est employé pour la production de chaleur et est réactualisé tous les ans. Cette valeur est aussi utilisée dans le cadre de la réalisation des Diagnostics de Performance Energétiques (DPE).

	France (Enquête de branche SNCU 2008)	Seine-Saint-Denis (Fossiles + Géothermie)
Contenu en CO ₂ (kg CO ₂ /kWh)	0,193	0,213

Figure 43 : Tableau comparatif des performances environnementales des réseaux de chaleur de Seine-Saint-Denis à ceux des réseaux français

A l'échelle départementale, l'ensemble des réseaux de chaleur de Seine-Saint-Denis produisent environ 10 % d'émissions de CO₂ en plus que la moyenne des réseaux de chaleur français. Cependant cet écart est encore plus accentué en classant les réseaux suivant leur mix énergétique : les réseaux « Fossiles » sont logiquement proches de la référence du Gaz Naturel, mais pour les réseaux géothermiques, en moyenne, leurs émissions sont presque réduites de moitié par rapport à cette même référence. En faisant la distinction entre les réseaux géothermiques qui possèdent une cogénération et les autres, cette réduction d'émissions de CO₂ par rapport au gaz peut aller de – 15 % à presque – 70 %...

	Gaz Naturel (Référence)	Réseaux Fossiles (15 réseaux)	Réseaux Géothermiques (5 réseaux)
Contenu en CO ₂ (kg CO ₂ /kWh)	0,234	0,242	Moyenne : 0,127
			Avec cogénération : 0,140-0,197
			Sans cogénération : 0,074

Figure 44 : Tableau comparatif des performances environnementales des réseaux de chaleur "Fossiles" et "Géothermiques" du département

VI. Bilan Economique

• Notions de Tarification des réseaux de chaleur

Les tarifs des réseaux de chaleur sont très variables selon les contrats négociés par les collectivités. Cependant, plusieurs termes sont communs à la facturation des réseaux de chaleur :

▪ Terme R1

Le terme R1 est souvent décomposé en deux parties distinctes pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire :

- R1 Chauffage : Ce terme est proportionnel à la consommation d'énergie primaire du réseau de chaleur et s'exprime en € HT/MWh. Il dépend essentiellement des combustibles utilisés (Gaz, Charbon, Géothermie...) et des prix d'acquisition de la chaleur (Cogénération notamment).
- R1 ECS : Il est proportionnel à la consommation d'eau chaude sanitaire, lorsqu'elle est facturée séparément du chauffage. Ce terme s'exprime en € HT/m³ d'eau consommé ou en € HT/MWh.

▪ Terme R2

Il s'agit de la part fixe ou abonnement. Ce terme est proportionnel à la puissance souscrite, ou à la surface chauffée, ou à une autre référence de répartition. Le R2 s'exprime soit en € HT/kW_{souscrit}.an, soit en € HT/m².an soit encore en € HT/URF.an (où l'URF est une Unité de Répartition Forfaitaire » permettant la répartition de la partie fixe entre abonnés, sans référence directe à la puissance souscrite).

Le R2 prend en compte la fourniture d'électricité, les charges d'exploitation et l'amortissement de l'installation pour le réseau primaire.

▪ Surtaxe et/ou redevance spéciale

Certains réseaux présentent une contribution supplémentaire, soit pour permettre à la collectivité de rembourser ses investissements (cas d'un affermage par exemple), soit pour l'amortissement de travaux. Ce terme peut être soit au forfait (€HT), soit proportionnel à la puissance (€HT/kW).

• Prix de vente moyen de la chaleur

Tous les ans, l'association AMORCE, le syndicat SNCU et l'ADEME réalisent une enquête sur les prix de vente de la chaleur pour les réseaux. **Les résultats donnent un prix moyen du MWh vendu par les réseaux de chaleur français (236 réponses à l'enquête) égal à 59,7 € HT/MWh utile en 2008.**

Ce prix correspond à la fourniture d'énergie utile et n'est pas directement comparable avec un prix de vente moyen du MWh tel que présenté par les opérateurs électriques et gaziers. Pour effectuer une comparaison complète entre réseaux de chaleur et énergies de réseaux (électricité et gaz), il faudrait ajouter à celles-ci le coût du système de production, son entretien et sa maintenance.

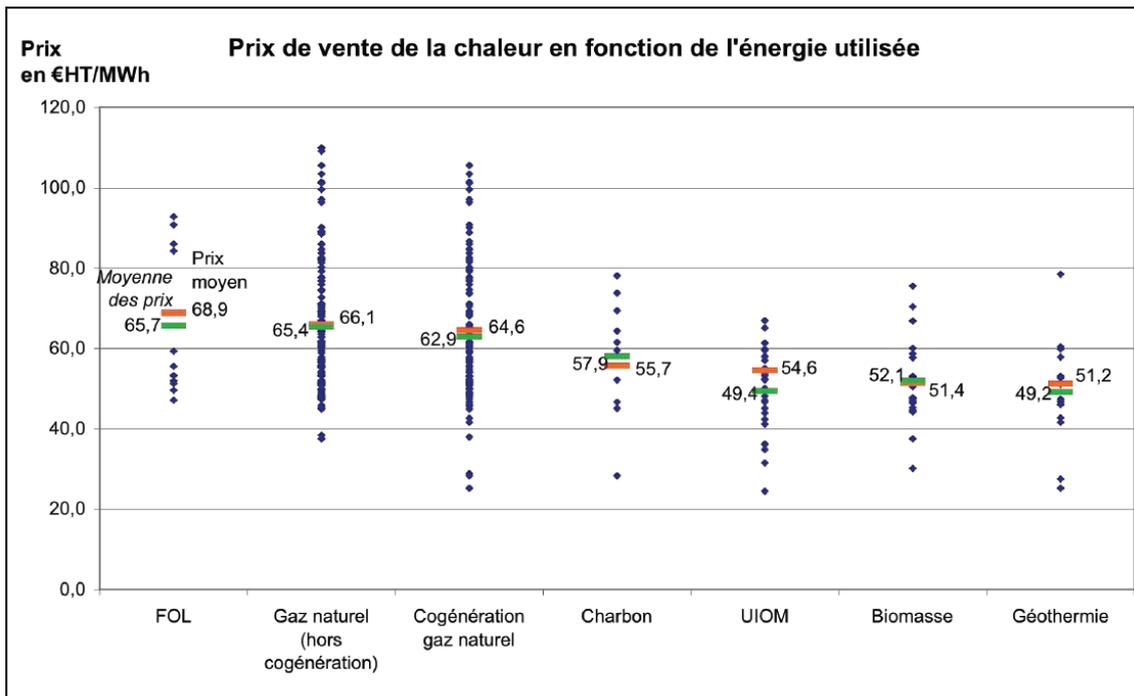


Figure 45 : Prix de vente de la chaleur en fonction de l'énergie principale utilisée sur le réseau de chaleur (Source : prix de vente de la chaleur AMORCE/SNCU/ADEME 2008)

Dans leur étude, AMORCE/SNCU/ADEME ont comparé les prix moyens de vente de l'énergie en fonction de l'énergie primaire majoritaire (+ de 30% du bouquet énergétique) utilisée par le réseau de chaleur. Par rapport aux autres énergies utilisées pour la production de chaleur, la géothermie est clairement compétitive avec un prix moyen de 51,2 € HT /MWh en 2008.

	France	Seine-Saint-Denis
Gaz Naturel	66,1 €/HT/MWh	65,6 €/HT/MWh (1 réseau)
Gaz Naturel (avec cogénération)	64,6 €/HT/MWh	60,4 €/HT/MWh (5 réseaux : 1 géothermie, 3 ex-géothermie, 1 fossile)
Géothermie	51,2 €/HT/MWh	47,4 €/HT/MWh (2 réseaux)

Figure 46 : Tableau comparatif des prix de vente de la chaleur des réseaux de chaleur du département

Dans le département de Seine-Saint-Denis, les réseaux de chaleur géothermique vendent, en moyenne, leur chaleur entre 20 et 30 % moins chers que les réseaux avec Gaz Naturel. Et par rapport aux autres réseaux de chaleur géothermique de France, les réseaux de Seine-Saint-Denis, sont légèrement en dessous de la moyenne des prix.

Bien entendu, tous ces prix sont donnés en € Hors Taxes, et compte-tenu de la nouvelle législation en vigueur sur les taux de TVA applicables aux réseaux utilisant plus de 50% d'énergies renouvelables (5,5% sur l'abonnement et les consommations), la différence entre réseaux « géothermiques » et « fossiles » sera plus importante encore.

VII. Bilan Juridique

Dans la majorité des cas, les réseaux de chaleur sont un service public local placé sous la responsabilité d'une collectivité. Il existe cependant quelques situations dans lesquelles les réseaux sont des réseaux privés de chauffage urbain, c'est-à-dire appartenant à des opérateurs privés.

- Réseaux privés

Dans le cadre d'un réseau privé, le propriétaire du réseau assure seul les investissements et peut, s'il le souhaite, déléguer les travaux et/ou l'exploitation de son réseau à un exploitant. En Seine-Saint-Denis, 4 réseaux utilisent ce mode de gestion :

- Aubervilliers – Pariféric (Patrimonial Le Pré Saint-Gervais) ;
- Garonor (Garonor Services) ;
- Aulnay 3000 / Rose des vents (SA HLM Le Logement Français) ;
- Le Bourget (Aéroports de Paris).

Toutefois, ces réseaux sont de taille moyenne. A noter aussi que le réseau d'Aulnay 3000 a abandonné l'exploitation de son puits géothermique au début des années 1990.

- Réseaux publics

Traditionnellement, l'exploitation des services publics peut être assurée selon différents modes de gestion publique ou privée.

Les collectivités publiques bénéficient d'une liberté de choix du mode de gestion de leurs services publics.

Les modes de gestion des services publics présentent plusieurs niveaux d'exécution du service public :

- La maîtrise du service public

La maîtrise du service exprime en fait la responsabilité du service public. Il est nécessaire pour les personnes publiques de disposer de certaines compétences obligatoires :

- compétence pour créer et supprimer le service public,
- compétence pour choisir le gestionnaire du service public,
- compétence pour définir les règles d'organisation et de fonctionnement du service,
- compétence pour contrôler le respect des règles d'organisation.

▪ La gestion du service public

La fourniture de la prestation aux usagers, la gestion du service public, dépend du gestionnaire du service.

- le gestionnaire définit, notamment au travers du règlement du service, les conditions de fourniture du service,
- le gestionnaire du service est l'employeur des agents du service,
- le gestionnaire peut être le maître d'ouvrage des installations du service (cas de la concession de travaux et de services publics),
- le gestionnaire est l'interlocuteur des usagers du service public.

▪ L'exploitation du service public

L'exploitation du service public peut être disjointe de la qualité de gestionnaire du service public :

- l'exploitant assure la fourniture de moyens au gestionnaire du service public,
- l'exploitant n'est pas lié aux usagers du service public et n'est lié qu'au gestionnaire,
- l'exploitant est le plus souvent une personne privée.

Elles peuvent ainsi choisir de recourir à une gestion directe (régie) ou préférer une gestion externalisée, voire opter pour une solution intermédiaire.

Les paragraphes suivants présentent les principales solutions contractuelles rencontrées sans être exhaustifs.

▪ L'exploitation du service et la réalisation de travaux en régie

Le choix de recourir à une gestion directe du service découle le plus souvent de la volonté de la collectivité de conserver l'entière maîtrise du service.

Il implique que soient réunis au sein de la collectivité les compétences adéquates, en particulier sur le plan technique, ainsi que les moyens humains et financiers nécessaires.

En matière de travaux, la réalisation de ces travaux sous la maîtrise d'ouvrage publique implique également à la collectivité de disposer des moyens de financements nécessaires, éventuellement en supportant directement la charge d'un ou plusieurs emprunts bancaires.

En outre, les risques d'exploitation du service sont directement assurés par la collectivité.

▪ La solution de l'externalisation

A l'inverse de la gestion traditionnelle en régie, il est possible de recourir à une gestion externalisée du service et à une réalisation externalisée des travaux.

L'hypothèse envisagée consiste à confier à un tiers, par un même contrat, tant la gestion du service public que la réalisation des travaux nécessaires à la gestion de ce service.

Selon l'importance relative qu'occupent la gestion du service d'une part et de la réalisation des travaux d'autre part, un tel contrat peut présenter la forme d'une convention de délégation de service public ou d'une concession de travaux publics.

La convention de délégation de service public

La convention de délégation de service public est définie à l'article L. 1411-1 du code général des collectivités territoriales comme suit :

« Une délégation de service public est un contrat par lequel une personne morale de droit public confie la gestion d'un service public dont elle a la responsabilité à un délégataire public ou privé, dont la rémunération est substantiellement liée aux résultats de l'exploitation du service. Le délégataire peut être chargé de construire des ouvrages ou d'acquérir des biens nécessaires au service ».

L'objet essentiel du contrat est la gestion d'un service public, mais le délégataire peut également être chargé de la réalisation d'ouvrages nécessaires au service.

Différents contrats peuvent relèvent de la définition de la délégation de service public :

- Concession :

Dans cette forme de délégation, la collectivité délégante demande à son cocontractant de construire certains ouvrages déterminés puis de les gérer et de les exploiter en se rémunérant sur les redevances versées par les usagers.

La caractéristique essentielle de la concession est de mettre les investissements immobiliers (travaux) ou mobiliers à la charge du concessionnaire qui a pour mission de financer l'investissement sur fonds propres ou par financement extérieur.

Le concessionnaire est chargé de conclure les marchés nécessaires à l'acquisition des biens (marchés de travaux, de maîtrise d'œuvre, d'assistance, etc.) ; il a, de ce fait, la qualité de « maître d'ouvrage ».

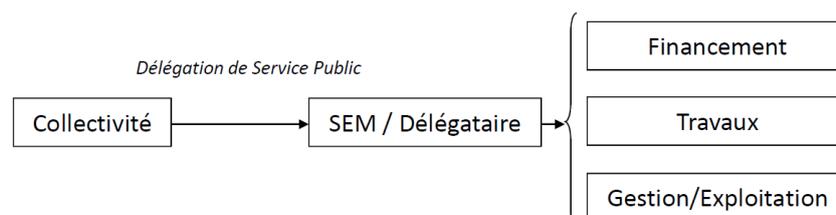


Figure 47 : Gestion d'un réseau de chaleur par Concession

- Affermage :

Dans le cas d'un affermage, la collectivité délégante met à la disposition de son fermier des ouvrages déjà construits. Le fermier les gère et les exploite en se rémunérant sur les redevances versées par les usagers.

Le fermier gère le service et entretient les ouvrages moyennant une rémunération assurée par les résultats de l'exploitation. Pour la réalisation des seuls travaux d'entretien, il a la qualité de maître d'ouvrage.

La principale différence avec la concession est que le titulaire n'a pas la charge des dépenses de premier établissement, c'est-à-dire que la collectivité « affermante » confie au fermier uniquement l'exploitation du service à l'exclusion des travaux de premier établissement.

Maître d'ouvrage des équipements du service, la collectivité publique les remet au fermier, qui doit veiller au bon état des ouvrages au moment de leur remise.

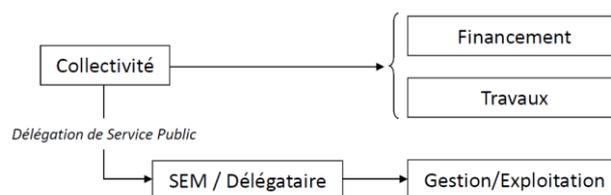


Figure 48 : Gestion d'un réseau de chaleur par Affermage

- Régie intéressée :

La collectivité délégante met à la disposition de son régisseur l'ensemble des biens nécessaires à l'exploitation du service.

Toutefois, contrairement à l'affermage, le régisseur n'a en principe pas de contact direct avec l'utilisateur. Sa rémunération est le plus souvent versée par la collectivité et comprend une part fixe et une part variable en fonction de ses performances.

La concession de travaux publics

Le contrat de concession de travaux publics se définit, aux termes de l'article L. 1415-1 CGCT comme suit :

« Les contrats de concession de travaux publics sont des contrats administratifs passés par une collectivité territoriale ou un établissement public local dont l'objet est de faire réaliser tous travaux de bâtiment ou de génie civil par un concessionnaire dont la rémunération consiste soit dans le droit d'exploiter l'ouvrage, soit dans ce droit assorti d'un prix ».

Contrairement aux conventions de délégation de service public, ce contrat a pour objectif premier de confier à un tiers la réalisation de travaux.

La gestion de ce service constitue la rémunération du concessionnaire de travaux publics.

Lorsqu'un contrat de concession porte à la fois sur des services et des travaux, il est du type concession de travaux publics si son objet principal est de réaliser des travaux.

- Les solutions intermédiaires

Il existe également des dispositifs intermédiaires.

Ainsi, il est tout à fait envisageable qu'une collectivité publique distingue la mission de gestion et d'exploitation du service public de celle de la réalisation de travaux. Il est alors nécessaire de mettre en œuvre plusieurs contrats.

Par exemple, une collectivité peut confier la gestion et l'exploitation d'un service public par une convention de délégation de service public, conservant la réalisation des travaux relatifs aux réseaux en régie ou en confiant la réalisation en concluant des marchés des travaux.

Il est également possible pour une collectivité de confier la gestion et l'exploitation du service en passant un marché d'exploitation et la réalisation des travaux en concluant des marchés de travaux.

3. Conclusion de l'état des lieux

La géothermie profonde au Dogger, lancée dans les années 70 dans le bassin parisien, a d'abord été mise en œuvre par transposition de technologies pétrolières. Ces techniques, inadaptées à la chimie de l'eau extraite, ont petit-à-petit été transformées et améliorées pour devenir fiables aujourd'hui. L'aléa technologique lié à l'exploitation du Dogger a lui-aussi été réduit grâce à la mise en place d'un suivi rigoureux des installations.

Les réseaux de chaleur géothermiques de la Seine-Saint-Denis créés au cours des années 80 bénéficient aujourd'hui d'indéniables avantages par rapport à des réseaux de chaleur utilisant des énergies fossiles et notamment :

- D'un point de vue énergétique : Ils permettent de raccorder en une seule opération plusieurs milliers de logements, dans un faible périmètre, en énergies renouvelables (en moyenne 3 300 logements sur 3,3 km de réseau en Seine-Saint-Denis). Par ailleurs, le recours à l'énergie géothermale permet de dépasser le seuil de 50 % d'énergies renouvelables dans le mix énergétique.
- D'un point de vue environnemental : Les réseaux géothermiques n'utilisent de l'énergie fossile qu'en appoint, ce qui leur permet d'afficher un contenu en CO₂ très faible.
- D'un point de vue économique : Enfin, économiquement parlant, les réseaux géothermiques sont compétitifs par rapport aux autres technologies de production de chaleur de type collectif. Une faible utilisation des énergies d'appoint leur assurent également un coût de la chaleur moins sensible aux hausses du prix des énergies fossiles.

Or dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, l'Etat français souhaite relancer le développement des réseaux de chaleur (et notamment géothermiques) par la mise en place de dispositifs techniques et économiques favorables. Le département de la Seine-Saint-Denis, avec déjà 5 réseaux géothermiques, possède les arguments géologiques et territoriaux pour réaliser de nouvelles opérations de géothermie associées à la réalisation d'un réseau de chaleur. Toutes ces opportunités sont détaillées dans la partie suivante.

PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE

1. Contexte environnemental, réglementaire et économique

A. *Grenelle de l'environnement*

L'objectif final du Grenelle de l'Environnement est d'aboutir à une part de 23% d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie de la France. Pour cela, les lois « Grenelle 1 » (3 août 2009) et « Grenelle 2 » (12 juillet 2010) présentent un certain nombre de mesures favorables au développement des réseaux de chaleur alimentés à plus de 50 d'ENR.

I. Grenelle 1

- Création d'un fonds de chaleur renouvelable

Ce fonds de chaleur renouvelable a été créé en novembre 2008 et sa gestion confiée à l'ADEME. Il vise principalement à encourager la production de chaleur renouvelable (biomasse, géothermie, solaire) tout en garantissant un prix inférieur à celui de la chaleur produite à partir d'énergies conventionnelles pour le tertiaire, l'industrie et l'agriculture, et à améliorer et à diversifier les sources de chauffage dans l'habitat. Ce fonds est doté d'un milliard d'euros pour la période 2009-2011.

La géothermie profonde associée à un réseau de chaleur est naturellement une filière aidée par le Fonds Chaleur. L'objectif est d'atteindre une capacité de production de la géothermie sur aquifère profonds de 500 000 TEP/an d'ici 2020. En 2009, 1 géothermie profonde, 15 géothermies avec PAC, 37 créations de réseaux et 8 extensions ont été subventionnées pour un montant total d'environ 50 M€. Les opérations éligibles sont :

- La réalisation d'un doublet et la création d'un réseau de chaleur associé. Le niveau d'aide indicatif pour une opération neuve est de 60% des dépenses éligibles (cf. Aides financières au montage de l'opération).
- La création d'un réseau neuf (production & distribution). L'aide envisageable est de l'ordre de 60% de l'investissement réseau dans une limite de 1 000 €/m.

L'analyse technico-économique des sites retenus intégrera les aides potentiellement disponibles via le Fonds Chaleur.

- Réduction des consommations des bâtiments existants

Dans le cadre de la loi « Grenelle 1 », l'Etat a aussi fixé comme objectif la rénovation complète du parc social locatif dont la rénovation prioritaire de 800 000 logements énergivores (consommations > 230 kWh/m²/an) d'ici 2020. Ces rénovations interviendront essentiellement dans le cadre de Plans de Rénovation Urbaine. L'objectif est de réduire d'au moins 40 % les consommations d'énergie et d'au moins 50 % les émissions de gaz à effet de serre de ces bâtiments.

- Reconnaissance de la spécificité des réseaux de chaleur alimentés en énergies renouvelables

« La production d'énergie renouvelable à partir d'un réseau de chaleur sera prise en compte dans l'ensemble des textes relatifs à la construction et à l'urbanisme, et en particulier dans la réglementation thermique des bâtiments et les labels de performance énergétique, au même titre que la production d'énergie renouvelable in situ. Une sous-station de réseau de chaleur alimentée à plus de 50 % à partir d'énergies renouvelables et de récupération est considérée comme un équipement de production d'énergie renouvelable. »

- Obligation de réaliser une étude de faisabilité d'un réseau de chaleur pour tout nouvel aménagement

La loi « Grenelle 1 » a aussi modifié le Code de l'Urbanisme, de telle façon que :

« Toute action ou opération d'aménagement 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. »

- Instauration d'une T.V.A. à 5,5 % sur les consommations

En marge du Grenelle de l'Environnement et depuis le 1^{er} mars 2009, la loi portant sur l'engagement national pour le logement fixe *« au taux réduit de 5,5% de la TVA l'abonnement relatif aux livraisons d'énergie calorifique distribuée par réseaux, ainsi que la fourniture de chaleur distribuée par ce réseaux lorsqu'elle est produite au moins à 50 % à partir de la biomasse, de la géothermie, de déchets, d'énergies de récupération. »*

II. Grenelle 2

- Possibilité de prolonger les DSP pour des investissements dans les énergies renouvelables

Le code général des collectivités locales a aussi été modifié afin de permettre les prolongations de délégation de services publics selon les modalités suivantes :

« Lorsque le délégataire est contraint, à la demande du délégant, de réaliser des investissements matériels non prévus au contrat initial de nature à modifier l'économie générale de la délégation et qui ne pourraient être amortis pendant la durée de la convention restant à courir que par une augmentation de prix manifestement excessive. Ces dispositions s'appliquent lorsque les investissements matériels sont motivés par :

- *la bonne exécution du service public*
- *l'extension du champ géographique de la délégation*
- *l'utilisation nouvelle ou accrue d'énergies renouvelables ou de récupération, si la durée de la convention restant à courir avant son terme est supérieure à trois ans. »*

▪ Procédure de classement des réseaux de chaleur

En vue de favoriser les réseaux de chaleur, la procédure de classement des réseaux de chaleur a été simplifiée lors du vote de la loi « Grenelle 2 » le 3 mai 2010 (article 30-II). Dorénavant, une collectivité peut demander à :

« classer un réseau de distribution de chaleur et de froid existant ou à créer situé sur son territoire, lorsqu'il est alimenté à plus de 50 % par une énergie renouvelable ou de récupération, qu'un comptage des quantités d'énergie livrées par point de livraison est assuré, et que l'équilibre financier de l'opération pendant la période d'amortissement des installations est assuré au vu des besoins à satisfaire, de la pérennité de la ressource en énergie renouvelable ou de récupération, et compte tenu des conditions tarifaires prévisibles ».

Concrètement, après enquête publique de la collectivité, le classement est effectif pour une durée maximale de 30 ans, sous réserve de maintenir la proportion d'énergies renouvelables supérieure à 50%. Ainsi, dans les zones considérées en développement prioritaire :

« toute installation d'un bâtiment neuf ou faisant l'objet de travaux de rénovation importants, qu'il s'agisse d'installations industrielles ou d'installations de chauffage de locaux, de climatisation ou de production d'eau chaude excédant un niveau de puissance de trente kilowatts, doit être raccordée au réseau concerné ».

Toutefois, la collectivité peut apporter une dérogation à cette obligation dans le cas nouvelles installations utilisant des énergies renouvelables ou si le raccordement au réseau ne peut se faire dans des conditions économiques satisfaisantes.

B. Perspectives de la Réglementation Thermique de 2012

A l'heure actuelle (au 3 mars 2010), les consultations pour la future Réglementation Thermique (RT) de 2012 laissent entrevoir une possible modulation du seuil de consommation maximale d'énergie primaire (Cep_{max}) pour les réseaux de chaleur utilisant des énergies renouvelables. Concrètement, le niveau de référence du Cep_{max} a été fixé à 50 kWh d'énergie primaire / m² SHON / an pour tous les logements avec 5 modulations possibles (altitude, position géographique, surface du bâtiment...).

Les logements qui seraient raccordés à un réseau de chaleur ayant un contenu en CO₂ inférieur à 0,150 kg CO₂ / kWh pourraient être autorisés à dépasser le Cep_{max} de 10 à 30 %. Au final, les consommations annuelles d'énergie primaire autorisées pour un même logement neuf (situé en région parisienne) seraient de :

- 60 kWh ep / m² s'il est chauffé au gaz naturel,
- 65 à 75 kWh ep / m² s'il est raccordé à un réseau de chaleur ayant un contenu en CO₂ inférieur à 0,150 kg CO₂ / kWh.

La méthode de calcul et les modulations doivent être officialisées au cours de l'été 2010 pour permettre une application de la RT au 1^{er} janvier 2011 pour les bâtiments publics et les bâtiments tertiaires privés (bureaux, commerces, entrepôts, etc.) et au 1^{er} janvier 2012 pour tous les bâtiments résidentiels.

C. *Plan-Climat du département de Seine-Saint-Denis*

Le département de Seine-Saint-Denis a élaboré son Plan Energie-Climat en novembre 2009. A l'issue d'une phase de diagnostics, il a été défini 3 secteurs prioritaires (Bâtiments, Déplacements et Consommation) et 11 axes stratégiques d'actions dont celui « Réduire les consommations d'énergie des logements et des bâtiments tertiaires en privilégiant l'isolation thermique ».

Parmi les objectifs de cet axe, il ressort qu'« *afin d'orienter efficacement tous les travaux d'amélioration thermique du bâti de Seine-Saint-Denis, **une planification énergétique du territoire offrirait aux aménageurs et constructeurs une vision intégrée des potentiels d'énergies renouvelables, des raccordements/création de réseaux de chaleur et des besoins de chauffage.*** ».

Toutes ces avancées réglementaires montrent bien que les réseaux de chaleur utilisant des énergies renouvelables sont appelés à jouer un rôle important en milieu urbain en cours des années à venir. Ce contexte très favorable et les conclusions de l'état de lieux permettent d'envisager une relance de la géothermie profonde dans le département de Seine-Saint-Denis sur des zones ciblées.

2. Potentialités de la Seine-Saint-Denis

A. Méthode de criblage pour de nouvelles opérations de géothermie profonde

Le rôle de cette partie est de cerner les zones d'adéquations entre la ressource sous-sol et sa valorisation en surface afin de proposer la réalisation de nouvelles opérations sur le département de Seine-Saint-Denis. Pour cette raison, une méthode de criblage des communes a été mise au point.

I. Evaluation du potentiel géothermique du Dogger

L'évaluation du potentiel géothermique de l'aquifère du Dogger en Seine Saint Denis repose sur les caractéristiques discriminantes entre plusieurs zones considérées.

Parmi tous les paramètres du Dogger (profondeur, épaisseur productrice, température, porosité, perméabilité, chimie de l'eau...), deux ont été choisis pour leur caractère discriminant dans la faisabilité d'une nouvelle opération. Il s'agit d'une part de la température de la ressource (corrélée en partie avec la profondeur du réservoir) et d'autre part de la transmissivité.

Ce dernier paramètre est égal au produit de la perméabilité moyenne par l'épaisseur productrice du réservoir. Il exprime la tendance du réservoir à laisser s'écouler l'eau à travers la roche, et donc la facilité à extraire/injecter l'eau géothermale par un forage.

Les cartes de températures et transmissivités du Dogger ont été établies par une méthode d'interpolation par krigeage entre les valeurs mesurées localement sur les forages au Dogger en Île-de-France. Les notes liées ont été affectées selon les valeurs des paramètres « Température » et « Transmissivité » d'après les cartes établies.

Le critère d'exploitabilité tiré de ces deux paramètres a été pondéré d'un facteur 2 pour la température, et d'un facteur 1 pour la transmissivité. En effet, la température du fluide conditionne la possibilité technique d'alimenter un réseau de chaleur, tandis que la perméabilité intervient en termes de coût d'exploitation, en influençant la puissance de pompage nécessaire pour atteindre le débit désiré.

Enfin, la présence d'un périmètre d'exploitation existant rend impossible l'implantation d'un nouveau doublet au même emplacement. Les emplacements des périmètres existants sont rappelés pour définir un critère de disponibilité de la ressource dans les zones qui pourrait être concernées (exemple d'Aubervilliers entre La Courneuve et Paris Nord Est). Le potentiel de développement d'une nouvelle opération est donc nul dans un périmètre existant.

On aboutit à une note sur 15 ramenée à une note sur 5 de « peu favorable » à « très favorable ».

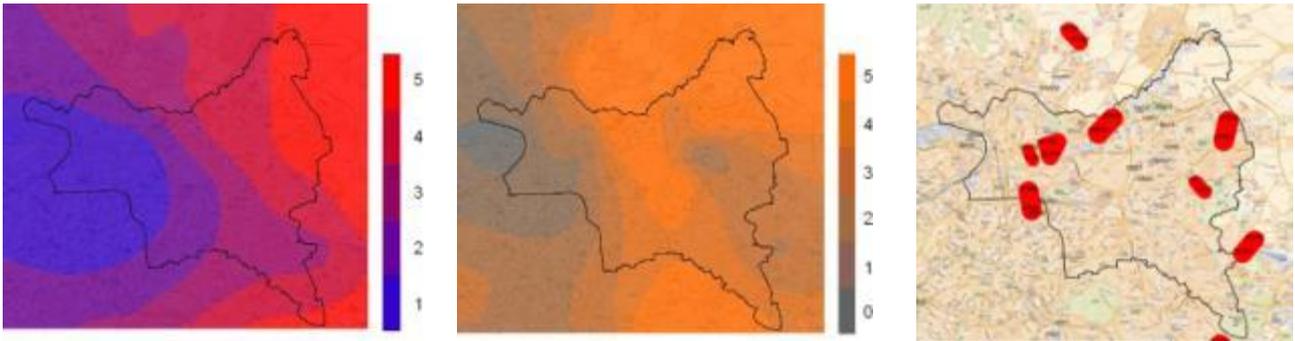


Figure 49 : Cartes de Température (gauche), de transmissivité (centre) et d'exploitabilité (droite) du Dogger

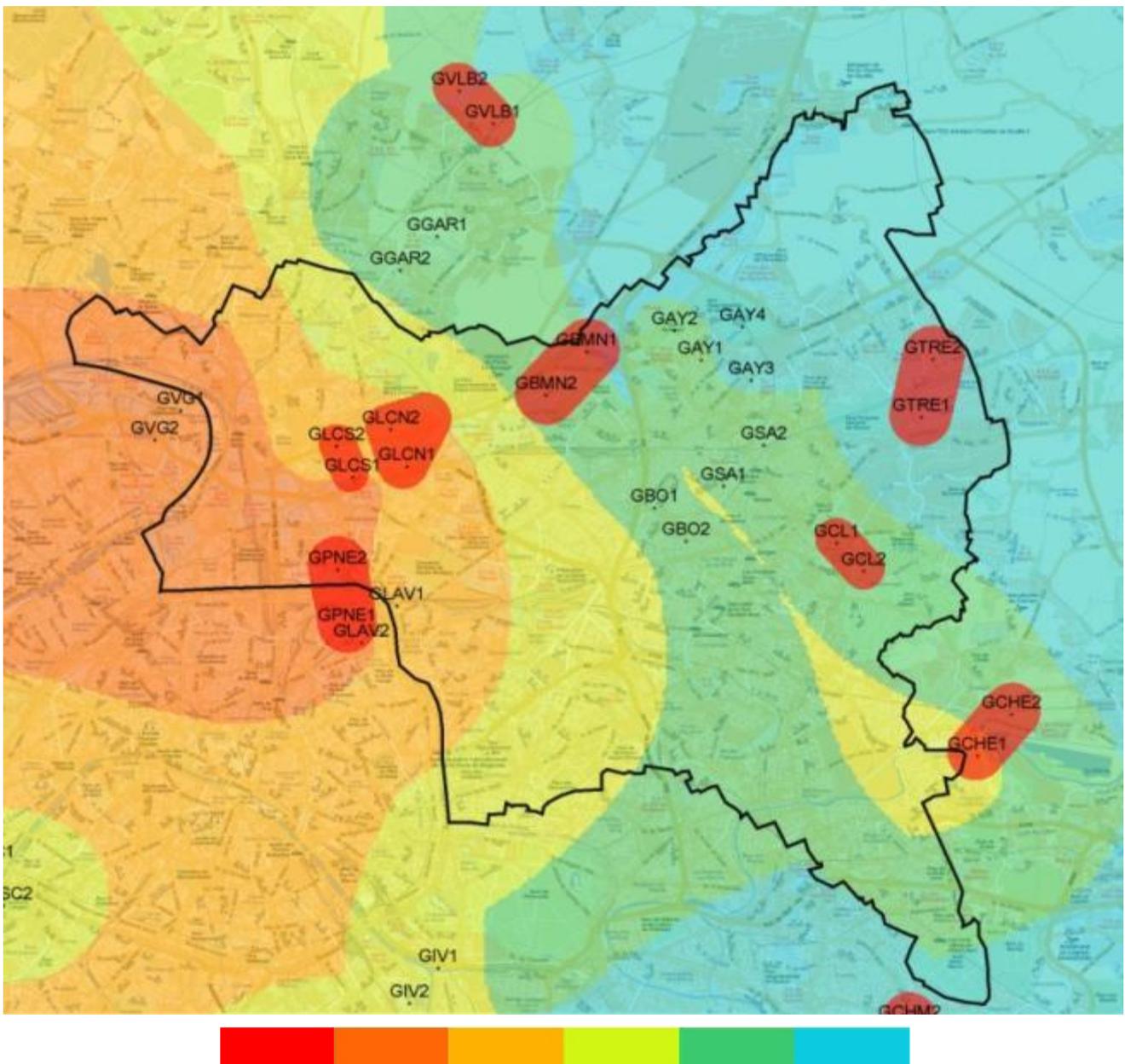


Figure 50 : Carte des potentialités sous-sol (Dogger) de la Seine-Saint-Denis
 (Rouge : Exploitation existante, Orange foncé : Potentialité modérée -> Bleu ciel : Excellentes potentialités)

II. Critères retenus pour l'évaluation du potentiel en surface

- Conditions pour une opération au Dogger

- Nombre de logements potentiellement raccordables

Les résultats de la partie « Etat des lieux » montrent que les réseaux géothermiques de Seine-Saint-Denis ont une taille moyenne d'environ 3 300 Equivalent-logements. Compte-tenu des objectifs environnementaux ambitieux, il faudra donc chercher entre 4 000 et 5 000 logements potentiellement raccordables à un futur réseau de chaleur géothermique.

Dans un premier temps, et en raison de la faisabilité administrative, Il n'est considéré que le patrimoine social du département. D'autre part, en raison de la faisabilité technique, seuls les logements chauffés par une chaudière collective alimentée soit au gaz, soit au fioul sont comptés dans l'étude.

Au final, l'habitat privé et le patrimoine municipal et/ou départemental viendront en « bonus » de cette base de 4 000 à 5 000 logements sociaux équipés de chaufferies collectives et constitueront ainsi un « réservoir » de besoins supplémentaires qui permettraient d'améliorer la faisabilité des opérations retenues.

- Nombre de logements utilisant un système d'ECS collective et des émetteurs « Basse Température »

Comme l'a montré la partie « Paramètres clefs d'un réseau géothermique », il est préférable de posséder des logements raccordés un système de production d'ECS collective et des logements possédant des émetteurs à « Basse Température ».

Il sera donc porté une attention particulière à la présence de logements équipés d'ECS collective au gaz et le maximum de logements équipés de planchers chauffant basse température et à leur représentativité au sein du patrimoine recensé.

- Présence et caractéristiques des réseaux existants

Il a été expliqué que tous les réseaux de chaleur ne sont pas, immédiatement, adaptables à une ressource géothermique. La cotation favorisera les réseaux à « Basse Température » mais pénalisera les réseaux en eau surchauffée disposant de systèmes de cogénération (cf. Adaptabilité d'un réseau existant à une opération de géothermie).

▪ Faisabilité Administrative

La création d'un réseau de chaleur n'est pas une opération anodine et compte-tenu des montants financiers engagés, elle nécessite l'accord de toutes les parties en présence (bailleurs, communes, gestionnaires...). Pour cette raison, un nombre réduit d'interlocuteurs favorisera l'éclosion d'une opération géothermique.

Comme nous ne considérons dans un 1^{er} temps que le patrimoine social, nous évaluerons donc le nombre de bailleurs sociaux concernés par le projet.

▪ Réserve foncière pour l'emplacement d'un forage

La question de la réserve foncière est importante puisqu'il faut entre 4 000 et 5 000 m² sont nécessaires pour la réalisation des forages du doublet. Cette surface est ensuite réduite à 1 000 m² en exploitation. Certaines communes ne disposent pas de cette réserve foncière et seront donc moins à même d'accueillir une opération géothermique.

Une autre problématique à prendre en compte est celle du sous-sol du département. La terre de Seine-Saint-Denis est riche de gypse, mais cette roche est soluble dans l'eau et peut occasionner des problèmes d'affaissements de terrain. D'autre part, il existe aussi des risques liés à la présence d'anciennes carrières. Pour ces raisons, les terrains potentiellement disponibles ne sont pas forcément constructibles. Ainsi, le département de Seine-Saint-Denis a établi un atlas des Plans de Préventions de Risques qui disponible à l'adresse suivante :

<http://www.seine-saint-denis.pref.gouv.fr/PPR/fichiers/grille.html>

▪ Aménagement du territoire

Le territoire de Seine-Saint-Denis actuellement en pleine évolution. De nombreuses communes sont concernées par un Plan de Renovation Urbaine (28 PRU en cours au 1^{er} décembre 2009 – ¼ du département) et des grands projets d'aménagement ont été lancés :

- Aubervilliers : Projet Canal – Porte d'Aubervilliers ;
- Aulnay-sous-Bois : ZAC des Aulnes ;
- Bobigny et Bondy : ZAC Ecocité – Canal de l'Ourcq ;
- Neuilly-sur-Marne : Aménagement de la zone de la Maison-Blanche ;
- Romainville : ZAC de l'Horloge ;
- Saint-Ouen : Reconversion de la zone des Docks.

Parmi les autres aménagements en cours dans le département de Seine-Saint-Denis, il faut aussi citer la création de lignes de tramway et la prolongation des lignes de métro de la RATP.

Ces aménagements peuvent favoriser (PRU, Création de ZAC,...) l'émergence d'une opération géothermique comme ils peuvent la défavoriser en créant des obstacles à son développement (réseaux de transports).

- Conditions pour une opération au Lusitanien ou à l'Albien/Néocomien

Les conditions pour la réalisation d'une opération de géothermie sur ces aquifères sont similaires à celles pour une opération au Dogger, seul diffère le nombre de logement potentiellement raccordables. Pour le Lusitanien, nous considérons une fourchette entre 3 000 et 3 500 logements. Pour une opération à l'Albien/Néocomien, nous comptons sur 1 500 à 2 000 logements.

Comme pour le Dogger, dans un 1^{er} temps, nous ne considérerons que le patrimoine social équipé de chaufferies gaz collectives. Enfin, ce potentiel devra se trouver dans un périmètre restreint (à l'échelle d'un quartier par exemple) et limité à une seule commune.

- Origine des données

Afin de disposer des données les plus fiables possibles, nous avons contacté la majorité des bailleurs sociaux du département afin de connaître les caractéristiques énergétiques de leur patrimoine. Sur l'ensemble de la Seine-Saint-Denis, actuellement près de 70 % du parc social locatif est connu avec plus ou moins de retours suivant les villes (cf. Figure 51).

Ces données des bailleurs sociaux ont été utilisées dans la méthode de cotation pour établir les zones propices à la création de nouvelles opérations de géothermie au Dogger. Par ailleurs, une grande partie de ces données ont été cartographiées sur les cartes qui seront présentées dans la suite du mémoire. Les fonds de cartes ont été fournis par le CG93.

Pour les communes bénéficiant d'un potentiel avéré, nous avons pris contact avec les services techniques pour connaître le patrimoine communal éventuellement raccordable à proximité du réseau à créer. Une démarche similaire a été effectuée auprès des services techniques du Conseil Général de Seine-Saint-Denis.

Dans la suite, le terme de « logements raccordables » fera référence à des logements sociaux dans des immeubles chauffés collectivement par une chaudière gaz (éventuellement fioul) possédant, ou non, un système d'eau chaude sanitaire collective.

Villes	Total Logements Parc Locatif Social (1er janvier 2008 - MEEDDAT)	Retours Bailleurs	% de retours sur le Total
Total	202 397	141 765	70,0%
Aubervilliers	10 823	9 175	84,8%
Aulnay-sous-Bois	9 837	6 364	64,7%
Bagnolet	6 355	766	12,1%
Le Blanc-Mesnil	7 420	5 923	79,8%
Bobigny	9 510	8 278	87,0%
Bondy	8 618	2 045	23,7%
Le Bourget	1 235	1 099	89,0%
Clichy-sous-Bois	2 776	891	32,1%
Coubron	37	37	100,0%
La Courneuve	6 166	5 988	97,1%
Drancy	8 617	8 394	97,4%
Dugny	2 679	2 635	98,4%
Épinay-sur-Seine	7 857	3 547	45,1%
Gagny	3 935	1 077	27,4%
Gournay-sur-Marne	99	0	0,0%
L'Île-Saint-Denis	1 847	1 046	56,6%
Les Lilas	2 481	2 259	91,1%
Livry-Gargan	2 230	1 410	63,2%
Montfermeil	1 681	1 509	89,8%
Montreuil	14 026	13 240	94,4%
Neuilly-Plaisance	779	266	34,1%
Neuilly-sur-Marne	4 907	2 372	48,3%
Noisy-le-Grand	5 852	2 842	48,6%
Noisy-le-Sec	6 879	6 726	97,8%
Pantin	7 761	6 081	78,4%
Les Pavillons-sous-Bois	896	557	62,2%
Pierrefitte-sur-Seine	4 132	2 487	60,2%
Le Pré-Saint-Gervais	3 465	2 134	61,6%
Le Raincy	296	278	93,9%
Romainville	4 470	3 570	79,9%
Rosny-sous-Bois	4 473	4 373	97,8%
Saint-Denis	17 916	14 716	82,1%
Saint-Ouen	7 878	1 171	14,9%
Sevran	5 861	4 580	78,1%
Stains	6 826	6 478	94,9%
Tremblay-en-France	3 134	1 169	37,3%
Vaujours	37	37	100,0%
Villemomble	2 743	854	31,1%
Villepinte	3 241	2 765	85,3%
Villetaneuse	2 622	2 626	100,2%

Figure 51 : Taux de retour du questionnaire bailleur pour l'ensemble des communes de Seine-Saint-Denis.

B. Résultats de la méthode de criblage

I. Groupe 1

Le groupe 1 rassemble toutes les « **Villes ou groupements de communes où la réalisation d'une opération de géothermie est favorable** ».

	Surface	Dogger	Potentiel recensé
Aubervilliers	Vert	Orange	6 553 Equivalent-logements
Drancy	Vert	Jaune	5 931 Equivalent-logements
Montreuil	Vert	Jaune	6 255 Equivalent-logements
Noisy-le-Sec	Vert	Jaune	5 712 Equivalent-logements
Rosny-sous-Bois	Vert	Vert	6 498 Equivalent-logements

	Surface	Dogger	Potentiel recensé
Groupement des quartiers de Drancy (Mulette) - Blanc-Mesnil (Petit Groslay) - Bobigny (Edouard Vaillant)	Vert	Jaune	6 064 Equivalent-logements
Groupement de Romainville, du Pré St Gervais et des Lilas	Vert	Jaune	4 940 Equivalent-logements

Echelle :



Potentiel Modéré



Potentiel Favorable

Figure 52 : Communes et Groupements de villes du Groupe 1

Toutes ces villes et groupements ont fait l'objet d'une étude approfondie qui est détaillée dans le paragraphe : « Analyse technico-économique pour les villes retenues dans le groupe 1 ». Dans chaque cas, la solution « Géothermie avec PAC » a été étudiée en complément de la solution « Géothermie Seule ».

II. Groupe 2

Le groupe 2 rassemble toutes les « *Villes où la réalisation d'une opération de géothermie est envisageable dans le cadre d'études complémentaires* ».

	Surface	Dogger	Observations
Le Blanc-Mesnil			Géothermie en exploitation Association possible
Bobigny			Eau Surchauffée en exploitation Association possible
Le Bourget			Besoins insuffisants pour une opération au Dogger / Association possible
Dugny			Besoins insuffisants pour une opération au Dogger / Géo avec PAC envisageable
Épinay-sur-Seine			Ressource insuffisante au Dogger Géo avec PAC envisageable
Gagny			Besoins insuffisants pour une opération au Dogger / Géo avec PAC envisageable
Les Lilas			Besoins insuffisants pour une opération au Dogger / Association possible
Pantin			Besoins insuffisants pour une opération au Dogger / Association possible
Le Pré-Saint-Gervais			Besoins insuffisants pour une opération au Dogger / Association possible
Romainville			Besoins insuffisants pour une opération au Dogger / Association possible
Stains			Besoins insuffisants pour une opération au Dogger / Géo avec PAC envisageable
Villepinte			Besoins insuffisants Association possible
Villetaneuse			Besoins insuffisants pour une opération au Dogger / Géo avec PAC envisageable

Echelle :



Potentiel Modéré



Potentiel Favorable

Figure 53 : Communes du Groupe 2

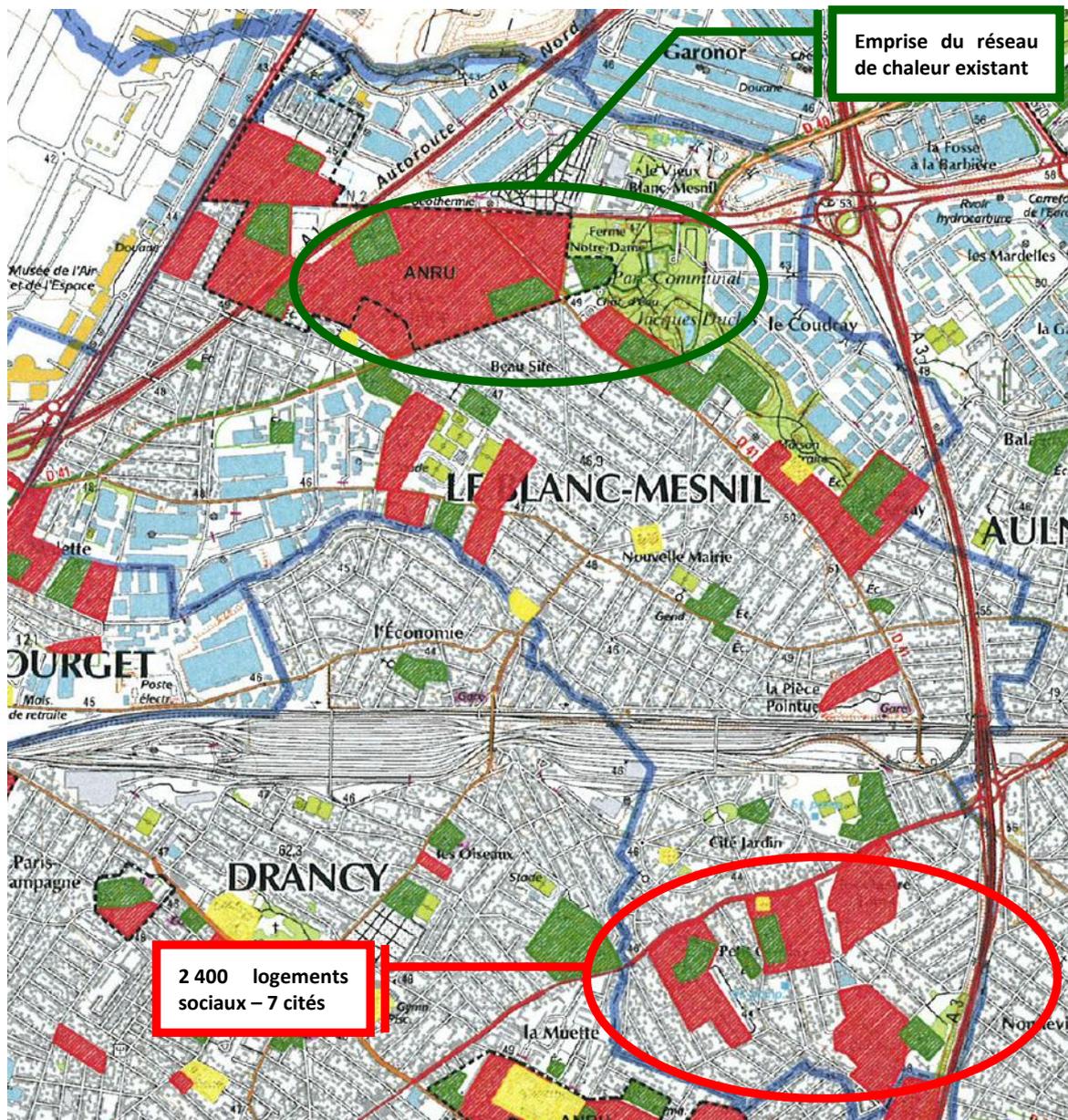
Toutes les données chiffrées des communes se trouvent dans le classeur-ville en annexe. Néanmoins, quelques explications sont données ci-après pour chacune de villes du Groupe 2.

- [Blanc-Mesnil](#)

La commune du Blanc-Mesnil possède déjà un réseau de chaleur à base géothermique dans sa partie nord. Or, d'après la carte, au sud de la ville, près de 2 400 logements sociaux, répartis sur 7 cités, sont chauffés collectivement au gaz. Ces logements seront difficilement raccordables au réseau existant en raison des voies de chemins de fer qui traversent la commune.

Le nombre de logements potentiellement raccordables ne justifie pas à lui seul la réalisation d'une opération au Dogger, mais une association avec des communes limitrophes (Bobigny et/ou Drancy) reste envisageable. Cette solution a été étudiée dans le groupe 1.

Si l'association n'est pas réalisable, la réalisation d'une opération de géothermie de moyenne échelle sur un aquifère plus superficiel peut néanmoins être aussi étudiée pour cet ensemble de logements.



- [Bobigny](#)

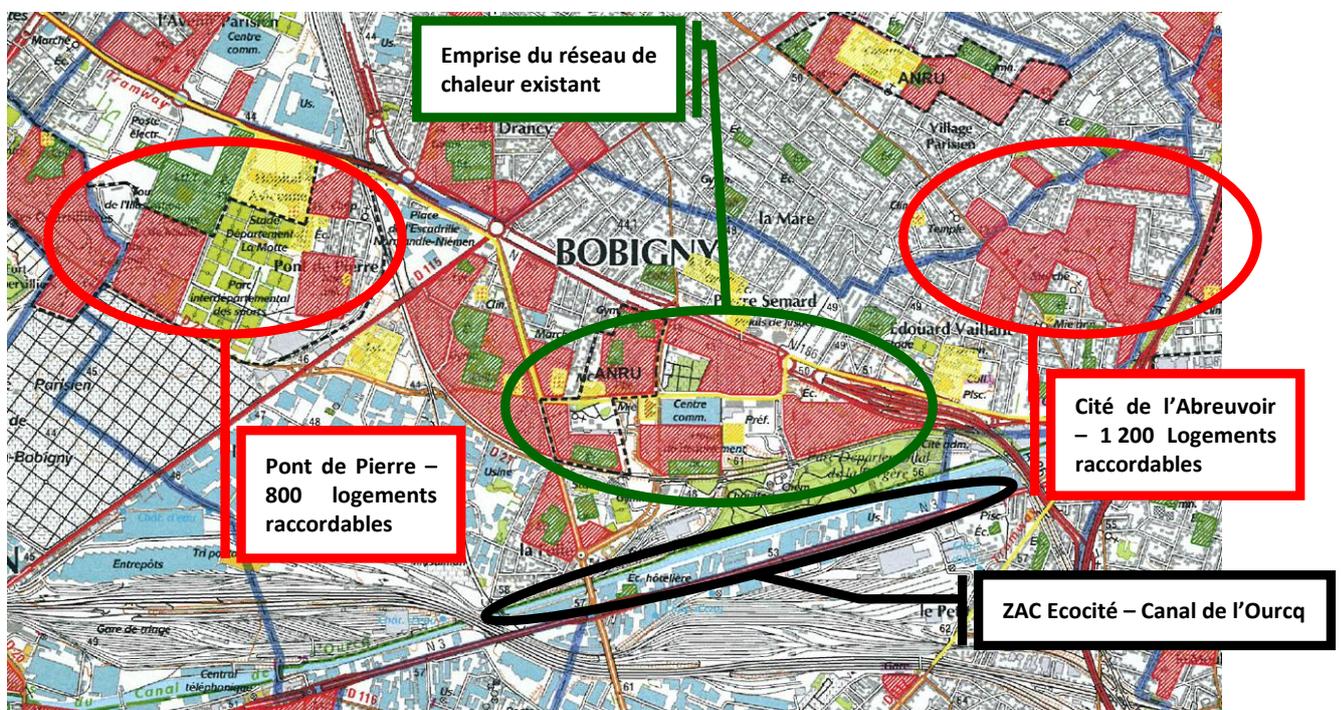
La commune de Bobigny possède déjà un réseau de chaleur en eau surchauffée. Une partie de ce réseau est déjà alimentée en « Basse Température », ce qui la rendrait compatible avec la réalisation d'une opération de géothermie. Le cas échéant, le reste du réseau sera à adapter, ce qui nécessiterait des études approfondies.

D'autre part, le réseau actuel est concentré sur le centre-ville et ne dessert actuellement pas la cité de l'Abreuvoir (environ 1 200 logements sociaux) au nord-est de la ville. Certes, cette cité ne justifie pas à elle-seule la réalisation d'une opération au Dogger, mais une association avec des communes limitrophes (Blanc-Mesnil et Drancy) reste envisageable (et étudiée dans le groupement 1).

Une autre association est possible, celle entre le Pont de Pierre (Bobigny), l'Avenir Parisien (Drancy et non raccordable au réseau prévu dans la solution étudiée), les Courtilières (Pantin) et le Fort d'Aubervilliers. Cette option n'a pas été approfondie car elle fait intervenir 4 communes et 4 communautés d'agglomérations différentes.

Si les associations ne sont pas envisageables, la réalisation d'une opération de géothermie de moyenne échelle sur un aquifère plus superficiel peut néanmoins être étudiée.

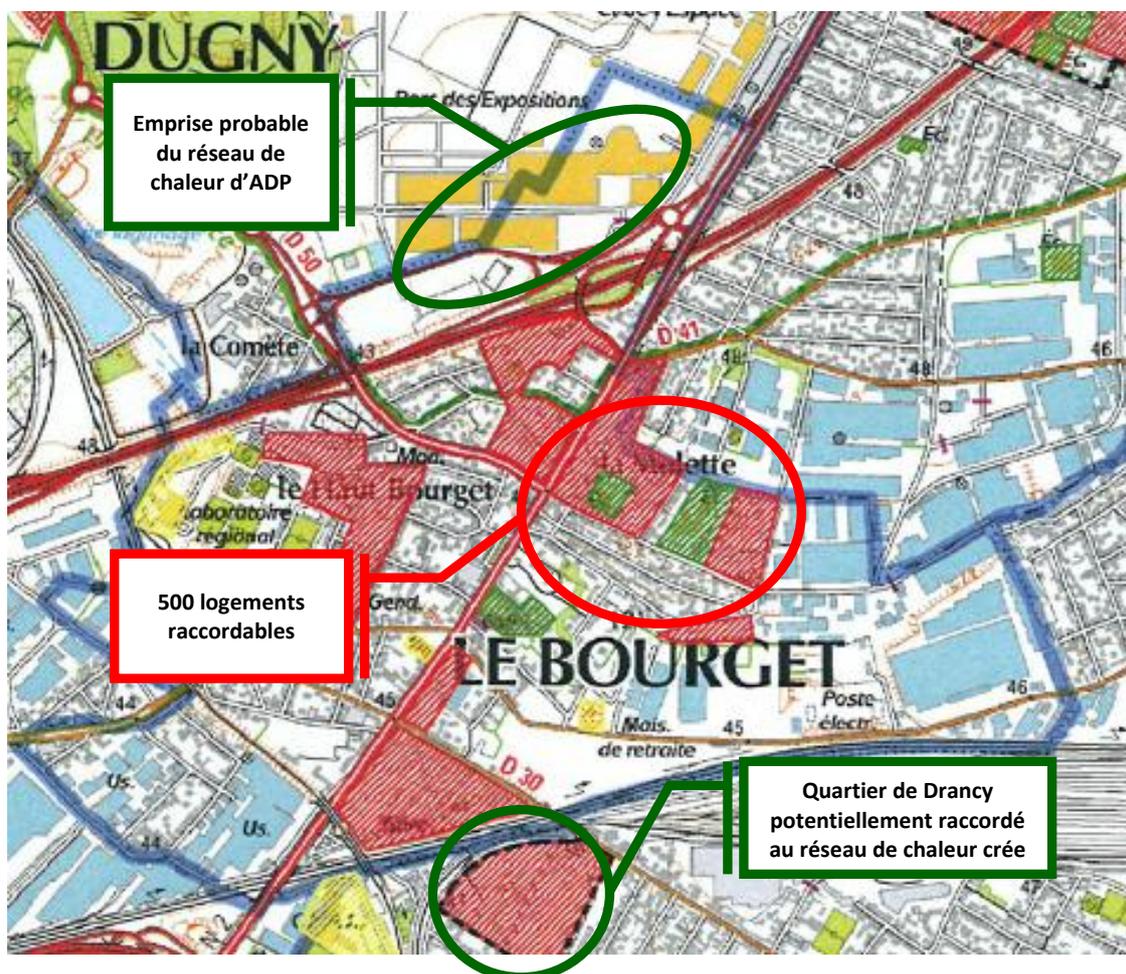
Enfin, la ZAC Ecocité – Canal de l'Ourcq, actuellement en cours d'études par Séquano Aménagement, prévoit la création de 1 500 logements, 47 000 m² de bureaux et 75 000 m² d'activités. Ce programme neuf ne justifiera pas de besoins suffisants pour la réalisation d'une opération au Dogger. Une solution de géothermie sur un aquifère superficiel peut toutefois être envisagée.



- [Le Bourget](#)

La commune du Bourget ne possède, à elle-seule, pas suffisamment de besoins en surface (environ 900 logements sociaux chauffés collectivement au gaz) pour justifier d'une opération au Dogger.

Cependant, une association reste possible avec la commune de Drancy si celle-ci crée le réseau de chaleur géothermique tel que décrit dans la suite du mémoire. Il ne s'agit pas de la seule condition, il faut aussi s'assurer de pouvoir traverser les lignes de chemins de fer qui séparent les deux communes. Ce passage nécessite la réalisation d'un fonçage, ce qui est une opération techniquement délicate et qui nécessite une étude approfondie.

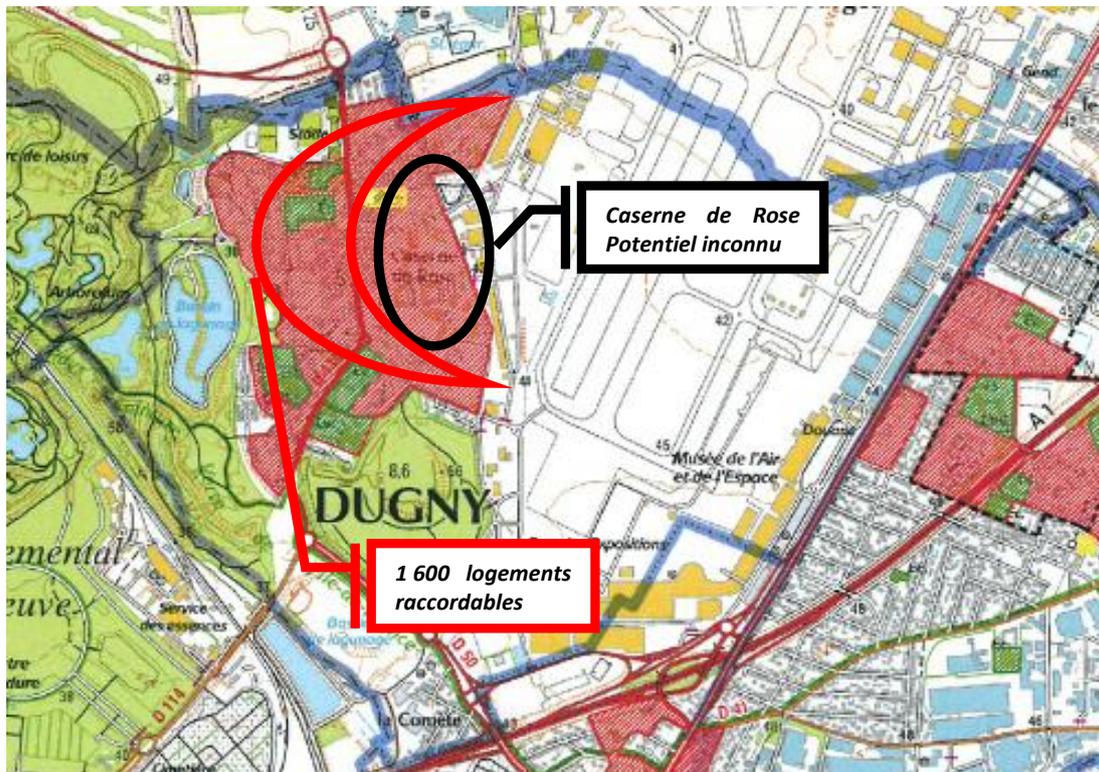


Dans l'hypothèse où Drancy ne réalise pas de réseau de chaleur géothermique, la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peut néanmoins être étudiée.

- Dugny

La commune de Dugny ne possède, à elle-seule, pas suffisamment de besoins en surface (environ 1 600 logements sociaux chauffés collectivement au gaz) pour justifier d'une opération au Dogger.

L'hypothèse d'un regroupement avec la commune du Bourget ne suffirait pas à obtenir les besoins suffisants pour une opération au Dogger. De plus, la réalisation d'un regroupement serait probablement onéreuse en raison des longueurs de réseaux à créer et des obstacles à franchir (Autoroute A1).



Cependant, la commune de Dugny peut tout-à-fait envisager la réalisation d'une opération de géothermie sur un aquifère moins profond comme le Lusitanien ou l'Albien/Néocomien. Elle possède une base suffisante de 1 600 logements collectifs potentiellement raccordables auxquels pourraient probablement s'ajouter ceux de la Caserne de Rose (20 ha) et ceux des bâtiments communaux. Cette solution nécessite des études complémentaires.

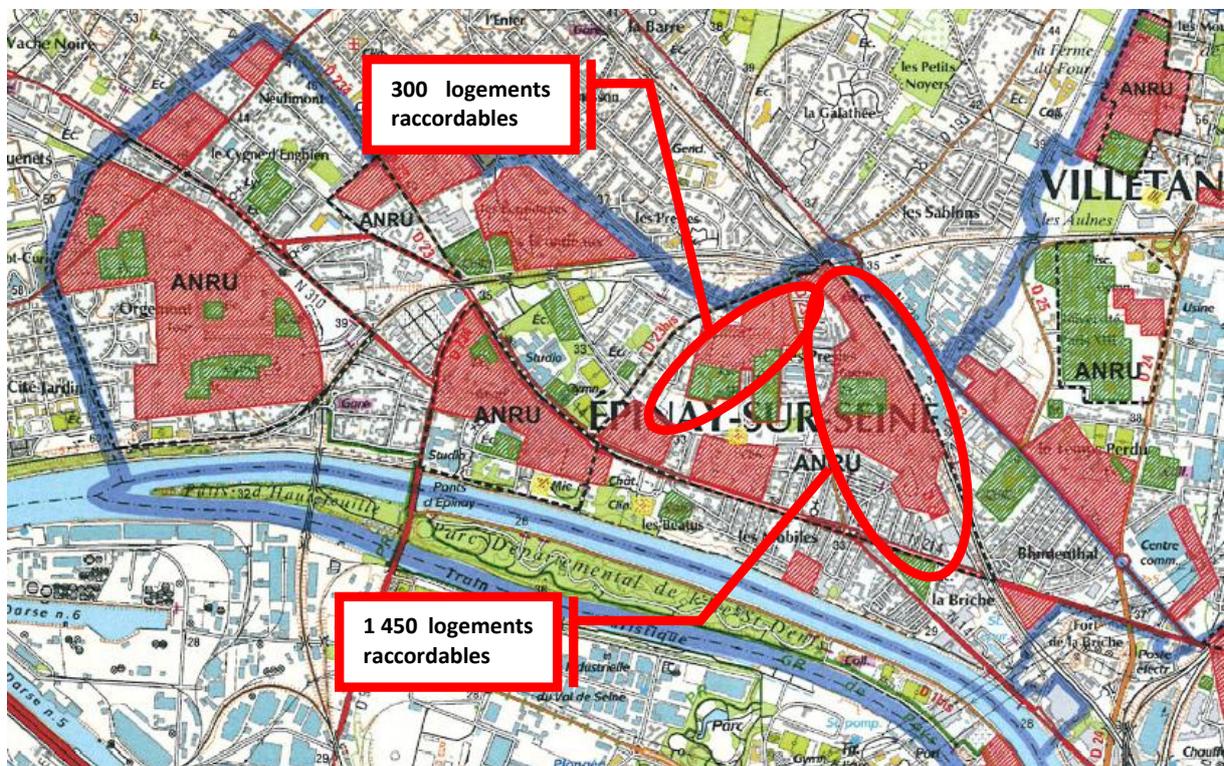
Enfin, la réalisation d'opérations de géothermie collective par PAC sur eau de nappe reste toujours possible.

- [Epinay-sur-Seine](#)

La commune d'Epinay-sur-Seine ne possède, à elle-seul, pas suffisamment de besoins en surface pour justifier d'une opération au Dogger : environ 2 000 logements sociaux chauffés collectivement au gaz. Par ailleurs, seulement la moitié du patrimoine social de la commune est connue.

La mutualisation des besoins avec la commune de Villetaneuse ne peut être envisagée en raison des voies de chemin de fer qui séparent les deux villes.

Toutefois, la commune possède un potentiel intéressant pour une opération de géothermie à moyenne échelle sur un aquifère plus superficiel. Cette solution est à étudier de façon plus approfondie.



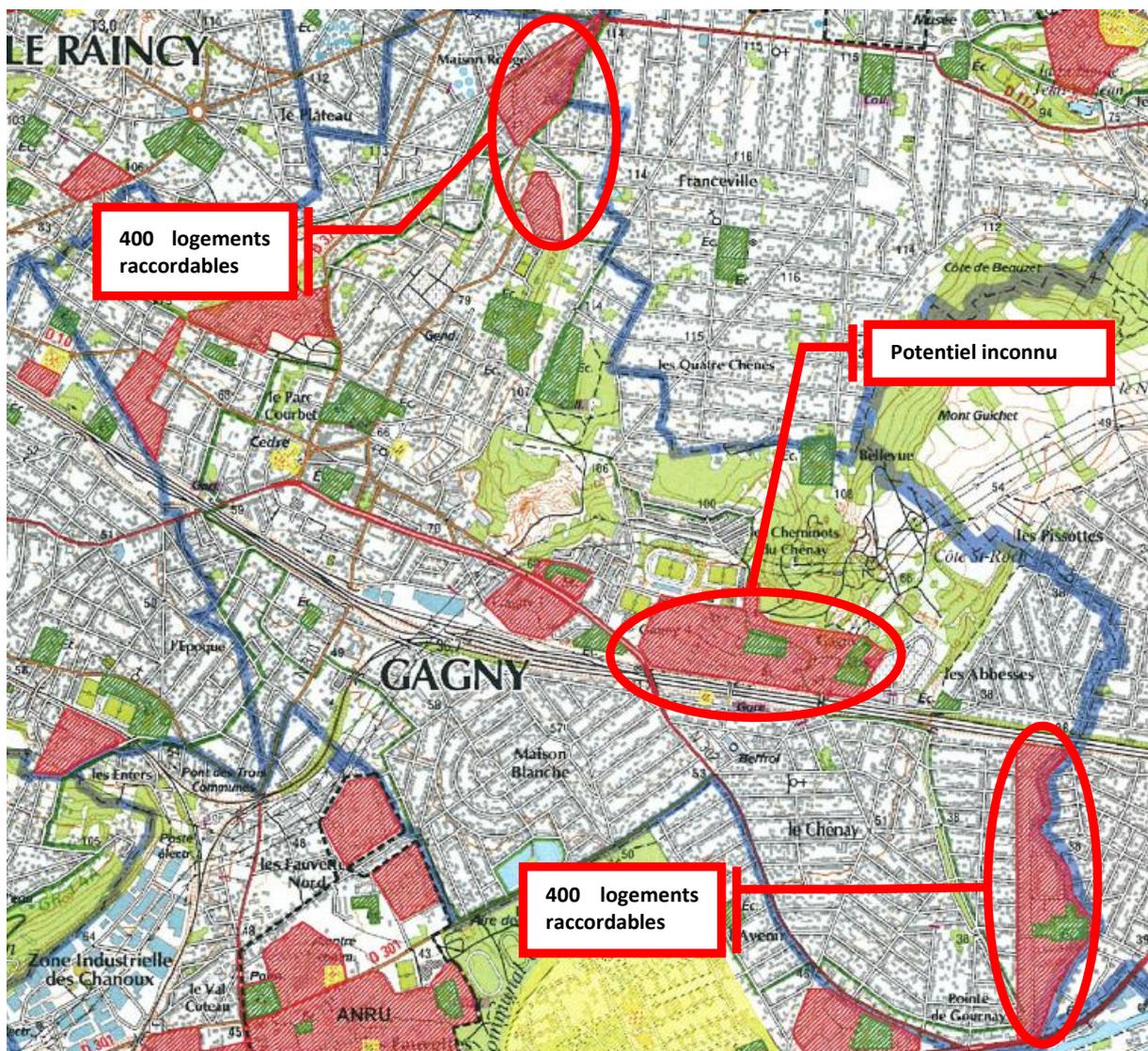
Enfin, la réalisation d'opérations géothermiques avec PAC collective sur eau de nappe peut aussi être considérée.

- Gagny

Bien que le potentiel géologique de Gagny soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface sont jugés insuffisants. Sur la commune, nous ne disposons, d'après notre consultation auprès des bailleurs (seulement 25% de retours) que de 1 000 logements sociaux potentiellement raccordables.

Sous réserves d'obtenir les informations complémentaires (emplacement et moyens de chauffage) sur le patrimoine social manquant, une opération de géothermie sur un aquifère plus superficiel pourrait être envisageable.

Enfin la réalisation d'opérations de géothermie collectives avec des PAC sur eau de nappe reste toujours envisageable pour Gagny.



- [Les Lilas](#)

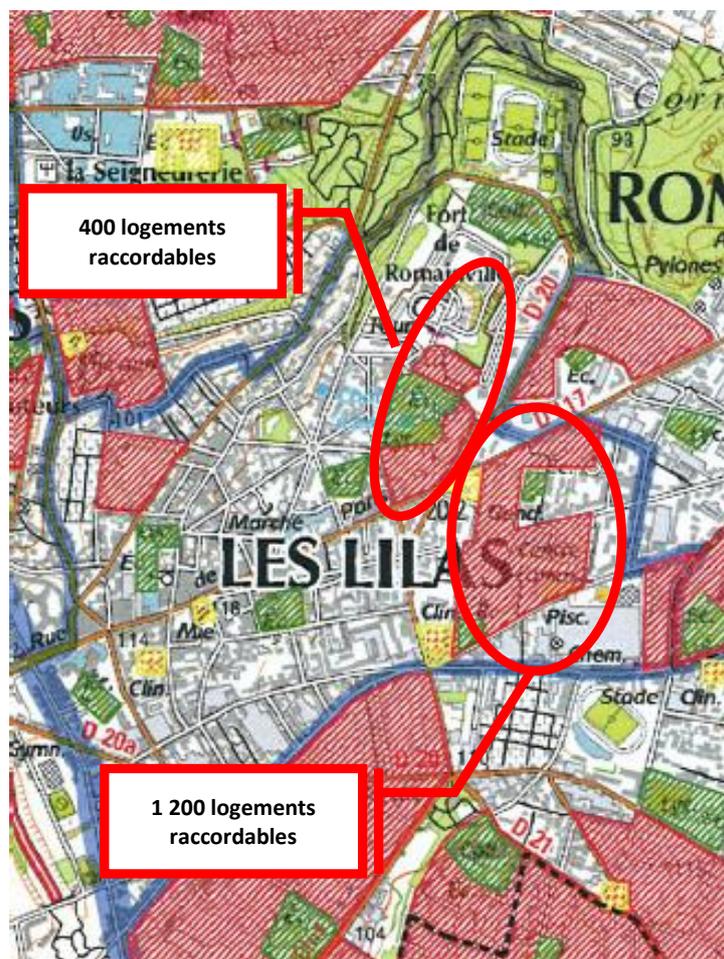
La commune des Lilas ne possède, à elle-seule, pas suffisamment de besoins en surface (environ 2 000 logements sociaux chauffés collectivement au gaz) pour justifier d'une opération au Dogger. De plus, elle ne dispose pas la réserve foncière nécessaire à la réalisation d'un forage.

Compte-tenu de la proximité des Lilas avec les communes du Pré Saint-Gervais et de Romainville et vu de leurs besoins respectifs, ces 3 villes peuvent espérer réaliser, conjointement, une opération au Dogger. Cette solution a été analysée dans le groupe 1 sous le nom de Groupement n°2.

Par ailleurs, la commune de Lilas possède un réseau de chaleur en basse température. Malheureusement aucune information n'est disponible sur ce réseau, mais il possède des caractéristiques qui permettraient de l'alimenter avec une ressource géothermale.

Enfin, si le Groupement ne peut se réaliser, la commune des Lilas peut éventuellement envisager une géothermie sur un aquifère plus superficiel comme le Lusitanien ou l'Albien/Néocomien mais cela nécessite des études complémentaires.

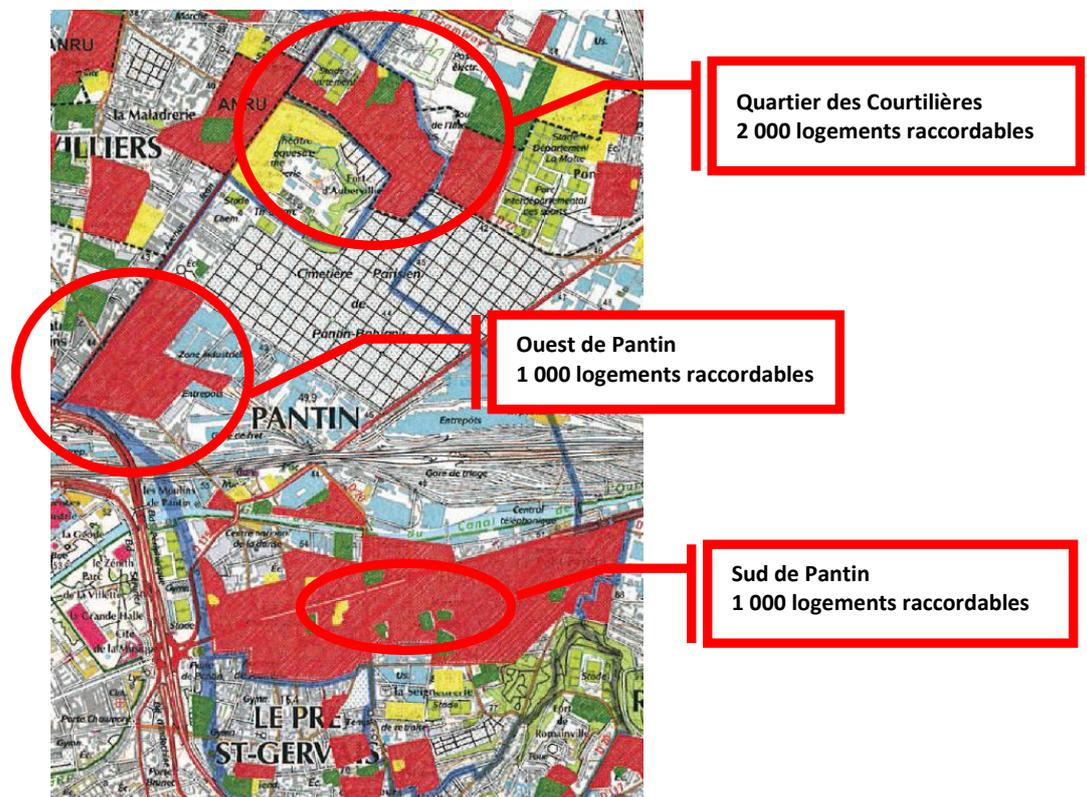
La solution, au cas par cas, de géothermie sur eau de nappe avec des PAC collectives est envisageable pour les immeubles collectifs.



- Pantin

La commune de Pantin possède des besoins en surface intéressants, mais ils sont trop dispersés à l'échelle de la ville pour pouvoir réaliser un réseau de chaleur. Cependant plusieurs solutions restent envisageables :

- Quartier des Courtilières : Environ 2 000 logements potentiellement raccordables. La réalisation d'une opération de géothermie profonde (Dogger ou aquifère plus superficiel) pourrait éventuellement voir le jour, mais elle nécessite l'accord de plusieurs communes (Drancy, Bobigny ou Aubervilliers). A noter que l'OPH de Pantin installe actuellement des panneaux solaires sur ses résidences. Dans l'hypothèse où Aubervilliers réaliserait le réseau décrit dans le « groupe 1 », ces logements pourraient être considérés comme une extension intéressante.
- Partie Ouest de Pantin : Potentiellement 1 000 logements raccordables. Les besoins sont trop faibles pour espérer une opération géothermique profonde. Cependant, ce quartier pourrait aussi être considéré comme extension du potentiel réseau d'Aubervilliers.
- Partie Sud de Pantin : 1 000 logements potentiellement raccordables dans le centre-ville. Toute opération de géothermie profonde est rendue difficile en raison du manque de surface foncière pour la réalisation du forage. Néanmoins, la réalisation, au cas par cas, de géothermie sur eau de nappe avec des PAC collectives est envisageable. Une opération de ce type est actuellement en cours d'achèvement pour Immobilière 3F.



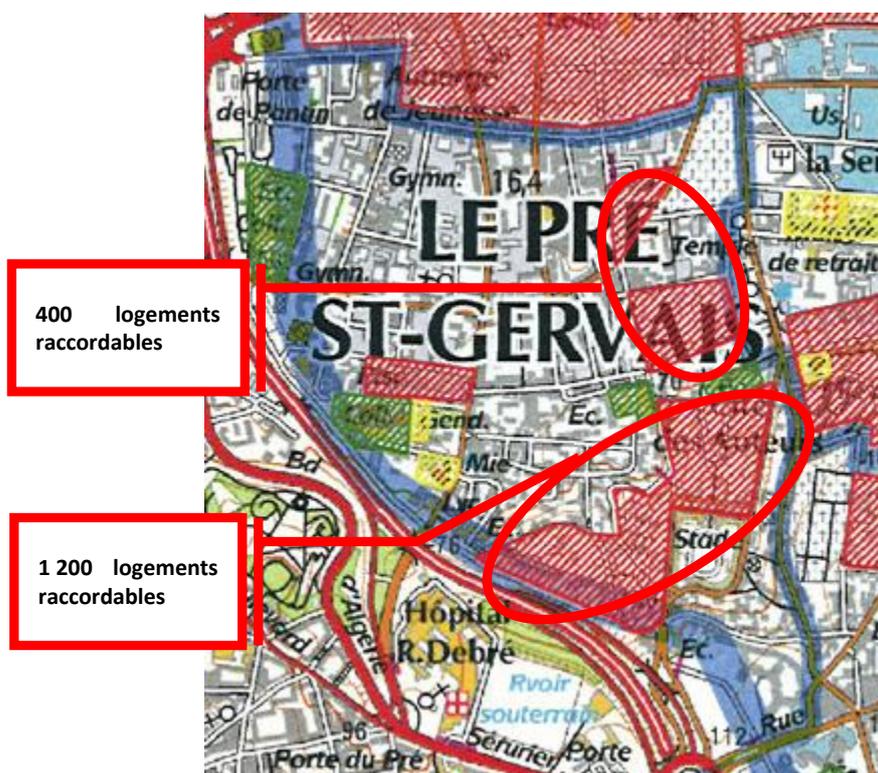
- Le Pré Saint-Gervais

La commune du Pré Saint-Gervais ne dispose, à elle-seule, pas suffisamment de besoins en surface (environ 1 700 logements sociaux chauffés collectivement au gaz) pour justifier d'une opération au Dogger. De plus, elle ne possède pas la réserve foncière nécessaire à la réalisation d'un forage.

Compte-tenu de la proximité du Pré Saint-Gervais avec les communes des Lilas et de Romainville et vu leurs besoins respectifs, ces 3 villes peuvent espérer réaliser, conjointement, une opération au Dogger. Cette solution a été analysée dans le groupe 1 sous le nom de Groupement n°2.

Enfin, si le Groupement ne peut se réaliser, la commune du Pré Saint-Gervais peut éventuellement envisager une géothermie sur un aquifère plus superficiel comme le Lusitanien ou l'Albien/Néocomien mais cela nécessite des études complémentaires.

En dernier lieu, la réalisation de géothermie sur eau de nappe avec PAC collective reste encore possible.

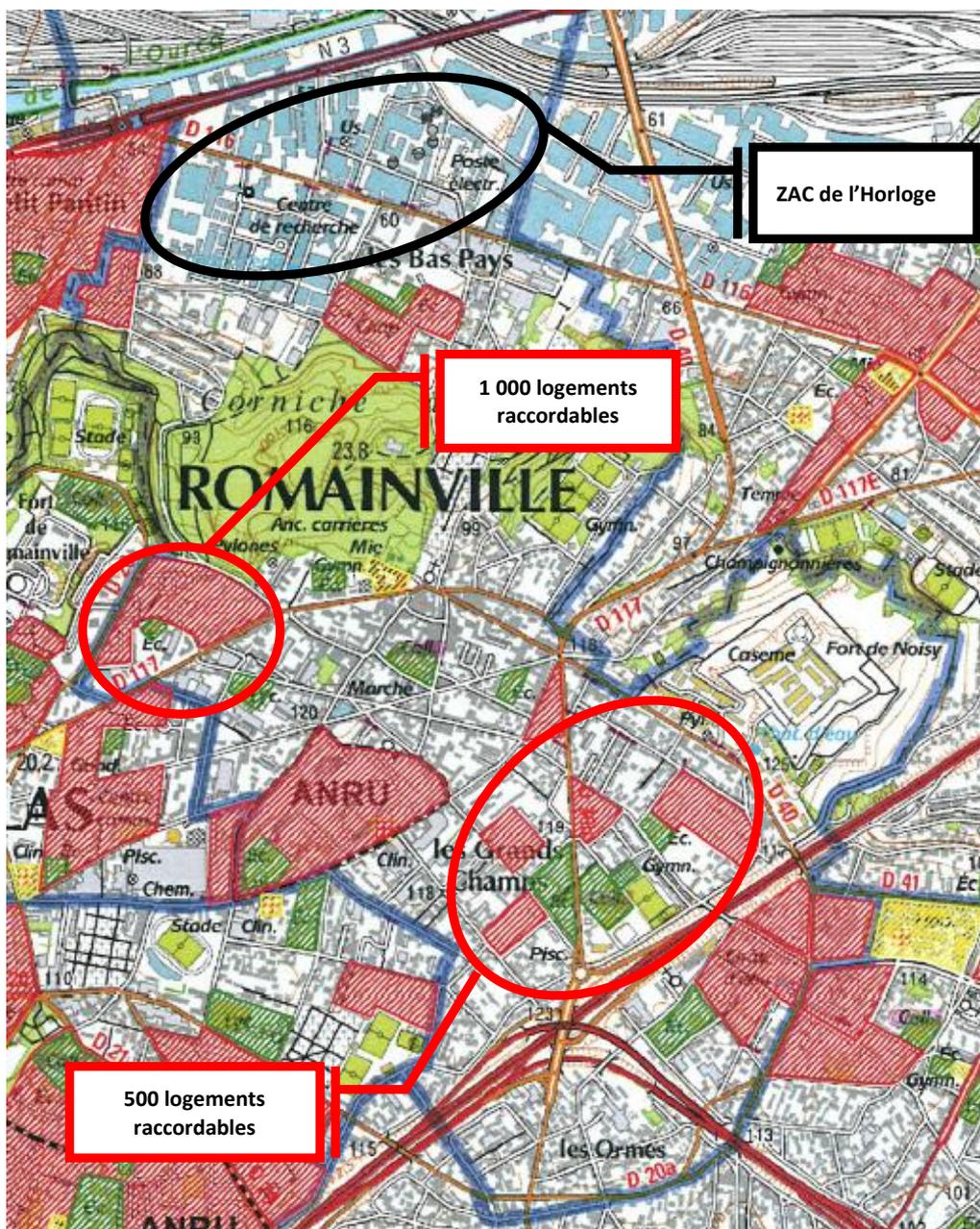


- [Romainville](#)

La commune de Romainville ne possède, à elle-seule, pas suffisamment de besoins en surface (environ 2 000 logements sociaux potentiellement raccordables) pour justifier d'une opération au Dogger.

Compte-tenu de la proximité de Romainville avec les communes des Lilas et du Pré Saint-Gervais et vu leurs besoins respectifs, ces 3 villes peuvent espérer réaliser, conjointement, une opération au Dogger. Cette solution a été analysée dans le groupe 1 sous le nom de Groupement n°2.

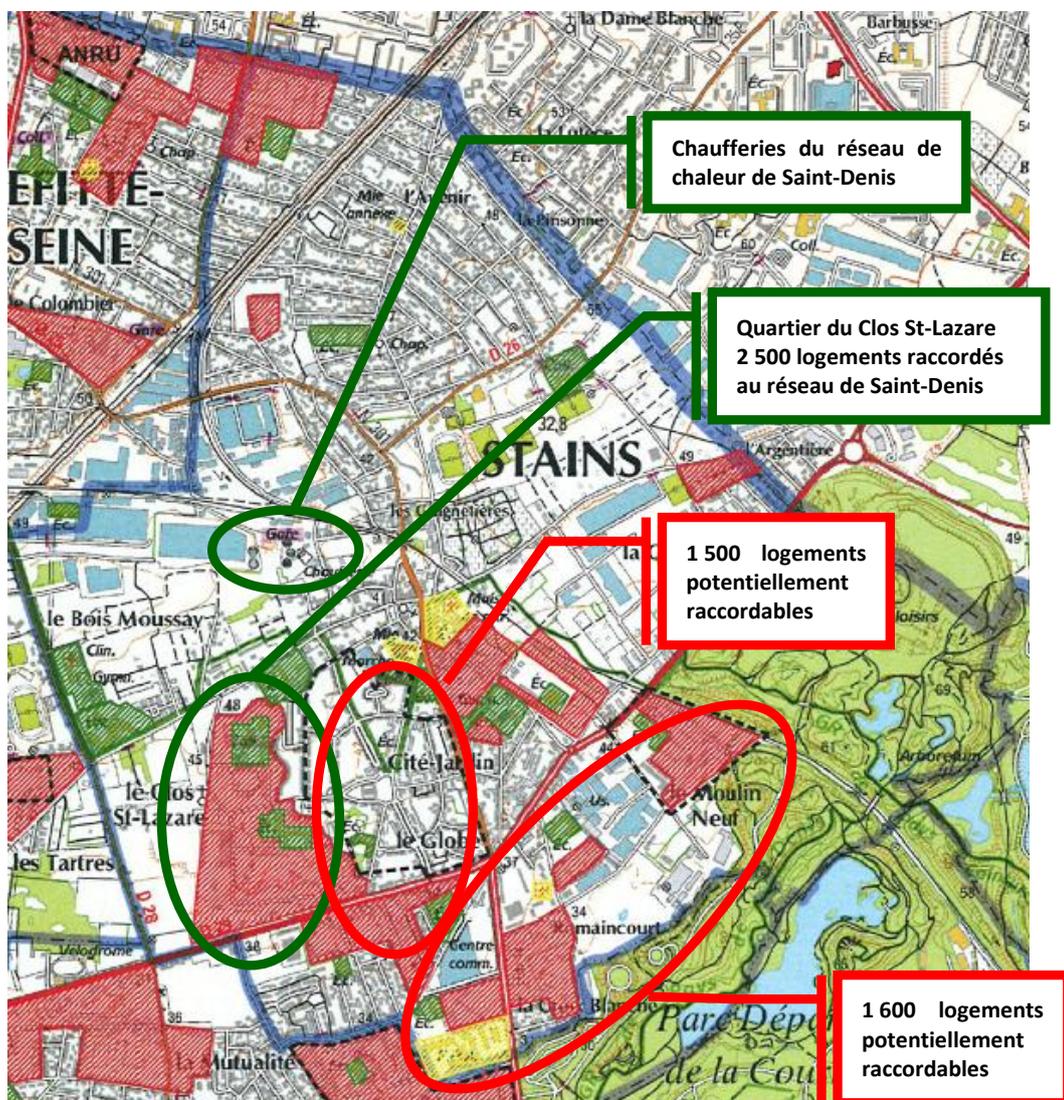
Si la réalisation du Groupement n°2 n'est pas envisageable, Romainville peut toujours se tourner, au cas par cas, vers une solution collective de Géothermie sur eau de nappe.



- Stains

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune de Stains sont jugés insuffisants.

La commune possède toutes les caractéristiques nécessaires à la réalisation d'une opération géothermique (environ 5 600 logement raccordables regroupés sur un petit périmètre), mais près de la moitié d'entre eux sont déjà desservis par le réseau de distribution de Saint-Denis. D'autre part, ce réseau de chaleur est en eau surchauffée, ce qui le rend incompatible avec la géothermie. Toutefois, la réalisation d'une boucle d'eau chaude sur ce quartier pourrait aussi être envisagée.



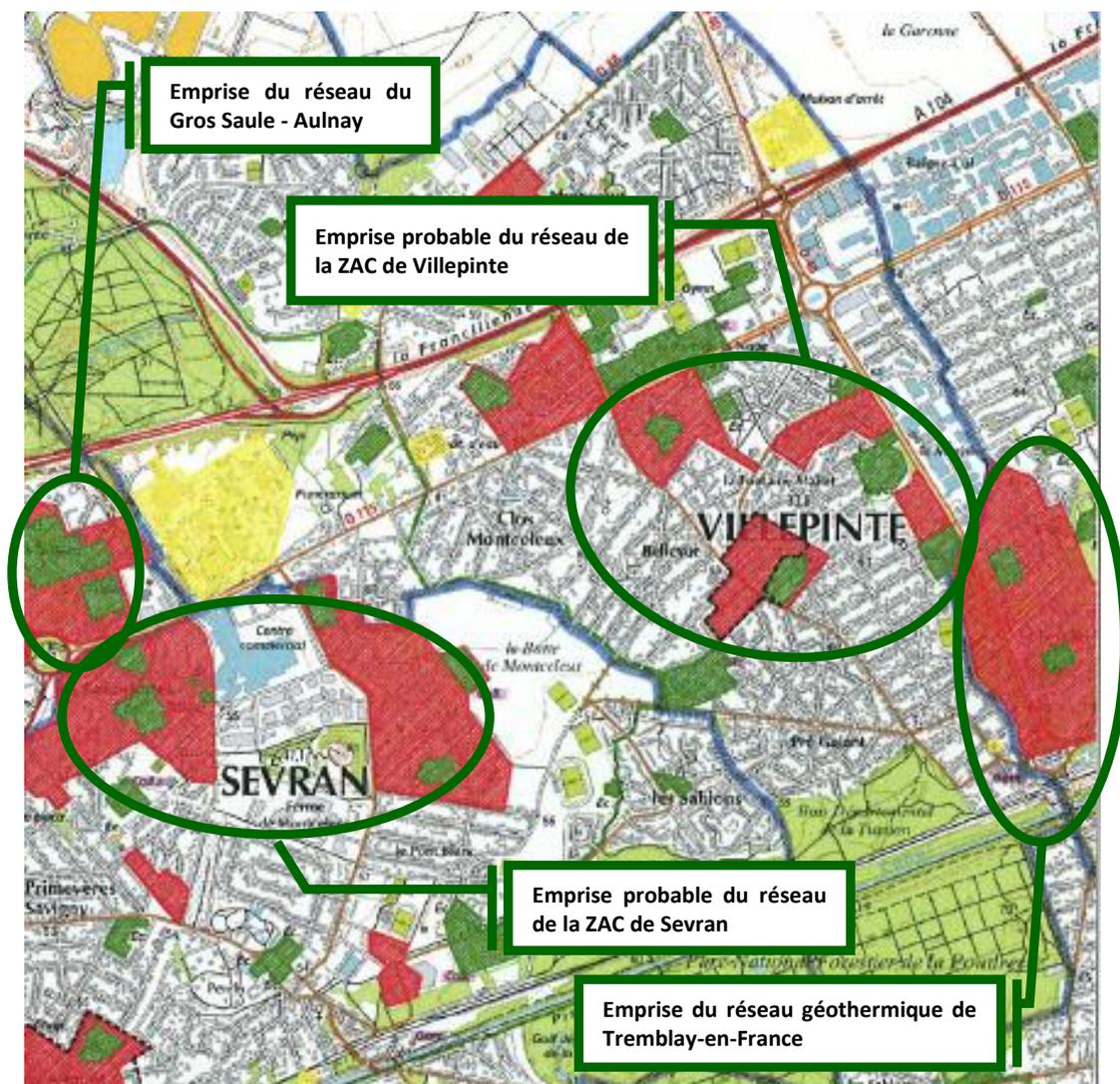
Néanmoins, pour les logements restants (entre 3 100 et 1 600 suivant que le quartier des Cités-Jardins se raccorde au réseau de Saint-Denis), la réalisation d'une opération de géothermie de moyenne échelle sur un aquifère plus superficiel ou la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peuvent néanmoins être étudiées.

- [Villepinte](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune de Villepinte sont jugés insuffisants.

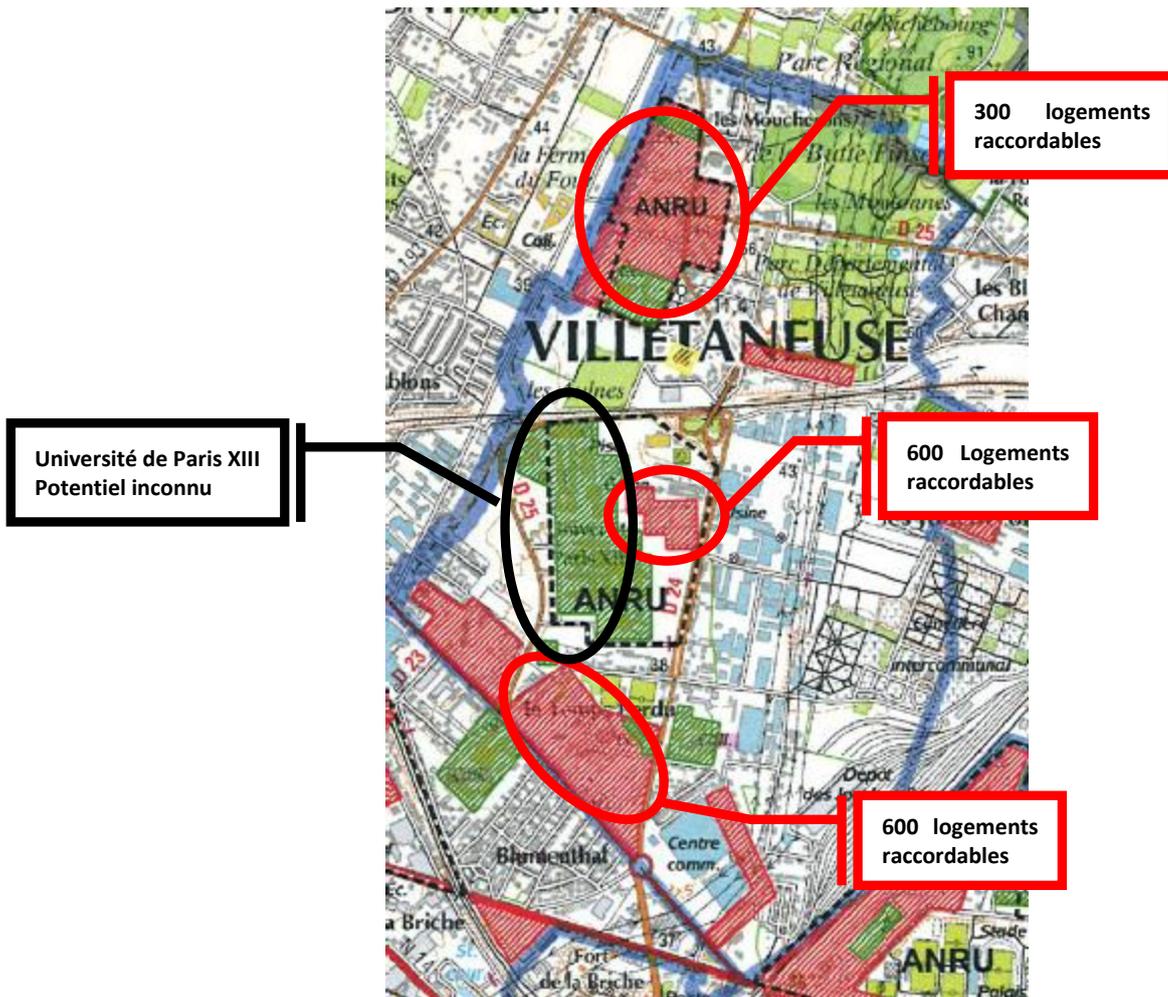
En effet, la commune possède déjà un réseau de chaleur en eau surchauffée et nous estimons que ce réseau alimente environ 3 000 Equivalents-logements. Sur le reste de la ville, les logements potentiellement raccordables ne sont pas assez nombreux pour espérer la réalisation d'une opération sur aquifère plus superficiel comme le Lusitanien ou l'Albien/Néocomien.

Néanmoins, une opportunité existerait pour la réalisation d'une opération au Dogger. Comme le montre la carte ci-dessous, le réseau de chaleur de Villepinte jouxte les réseaux de la ZAC de Sevrans et de Tremblay-en-France (géothermie en exploitation). Dans le cadre d'une mutualisation avec un ou plusieurs réseaux, la géothermie profonde pourrait y trouver un intérêt. Cependant, dans cette hypothèse, il faudrait déclasser le réseau de Villepinte en « Basse Température », ce qui nécessite des investissements lourds. Ces réflexions pourraient être approfondies par des études complémentaires détaillées.



- Villetaneuse

La commune de Villetaneuse possède des besoins en surface trop peu importants pour justifier à eux-seuls d'une opération au Dogger. Cependant la réalisation d'une opération sur aquifère plus superficiel pourrait être intéressante sous réserves d'un potentiel important sur le site de l'université de Paris XIII. Sinon, la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peut aussi être étudiée.



- Synthèse des opportunités du Groupe 2

	<i>Géothermie au Dogger existante</i>	<i>Géothermie au Dogger en association avec une ou des communes</i>	<i>Géothermie au Dogger sous conditions</i>	<i>Géothermie sur un aquifère plus superficiel (Lusitanien – Albien/Néocomien)</i>	<i>PAC Collectives sur eau de nappe</i>
<i>Le Blanc-Mesnil</i>	X	X		X	X
<i>Bobigny</i>		X	X	X	X
<i>Le Bourget</i>			X		X
<i>Dugny</i>				X	X
<i>Epinay-sur-Seine</i>				X	X
<i>Gagny</i>				X	X
<i>Les Lilas</i>		X		X	X
<i>Pantin</i>			X		X
<i>Le Pré Saint-Gervais</i>		X		X	X
<i>Romainville</i>		X			X
<i>Stains</i>				X	X
<i>Villepinte</i>			X		X
<i>Villetaneuse</i>				X	X

III. Groupe 3

Le groupe 3 rassemble toutes les « **Villes où une opération de géothermie est favorable mais, où il existe déjà une réalisation et/ou un projet est en cours et/ou des études complémentaires sont nécessaires** ». Les données expliquant ce classement, les cartes et les explications ci-dessous sont disponibles dans le classeur des Fiches-Villes.

	Surface	Dogger	Observations
Aulnay-sous-Bois			Doublets forés en 1982 et 1984 Arrêtés en 1989 et 1990
Bagnole			Eau Surchauffée en exploitation
Bondy			Doublet foré en 1984 Arrêté en 1989
Clichy-sous-Bois			Géothermie en exploitation
La Courneuve			Géothermie en exploitation
Neuilly-sur-Marne			Projet de Géothermie en cours
Saint-Denis			Eau Surchauffée en exploitation
Sevran			Doublet foré en 1983 Arrêté en 1990
Tremblay-en-France			Géothermie en exploitation

Echelle :



Figure 54 : Communes du Groupe 3

- [Aulnay-sous-Bois](#)

La commune d'Aulnay-sous-Bois possède trois réseaux de chaleur sur son territoire dont deux sont des anciennes géothermies (Gros Saule et Rose des vents, respectivement arrêtés en 1989 et 1990). Ces deux réseaux étant proches, la mutualisation des besoins par la création d'une interconnexion pourrait éventuellement être propice à la réalisation d'une nouvelle opération de géothermie profonde.

- [Bagnole](#)

Le réseau de Bagnole utilise comme énergie principale du charbon pour alimenter un circuit de distribution en eau surchauffée sur 10 km. La transformation d'une partie du réseau pour la réalisation d'une opération de géothermie reste très hypothétique.

- [Bondy](#)

La commune de Bondy possède un réseau de chaleur qui fut autrefois (jusqu'en 1990) raccordé à un doublet géothermique. Dans le cadre des renégociations des contrats de cogénération, Bondy étudie la faisabilité d'une chaudière Biomasse.

- [Clichy-sous-Bois](#)

Clichy-sous-Bois possède déjà un réseau de chaleur géothermique qui alimente environ 4 000 logements avec un doublet de 80 m³/h à 69°C. La possibilité de réaliser un triplet est actuellement en cours d'études.

- [La Courneuve](#)

La Courneuve possède deux réseaux de chaleur géothermiques qui alimentent au total près de 5 000 logements. Les caractéristiques de doublet sont : Débit = 180 m³/h (Nord), 90 m³/h (Sud) et Température = 58°C (Nord), 55°C (Sud).

En vue de la réhabilitation des puits existants sur le réseau Nord et dans l'optique d'une augmentation du débit d'exhaure à 300 m³/h, la réalisation d'un triplet est prévue à la Courneuve à partir de 2011.

- [Neuilly-sur-Marne](#)

Neuilly-sur-Marne possède un réseau de chaleur alimenté par des énergies fossiles et desservant 4 600 équivalent-logements. Dans le cadre des futurs aménagements de la Maison Blanche et de Ville Evrard, la capacité de ce réseau sera portée à environ 10 000 équivalent-logements. Cette nouvelle ZAC sera alimentée par un doublet géothermique dont les performances attendues sont de 350 m³/h et 68°C.

- [Saint-Denis](#)

Le réseau de Saint-Denis utilise comme énergie principale du gaz naturel pour alimenter un circuit de distribution en eau surchauffée sur 49 km. La transformation d'une partie du réseau pour la réalisation d'une opération de géothermie reste très hypothétique.

Cependant, deux autres pistes de réflexions pourraient être menées :

- Déclassement d'une partie du réseau avec création d'un doublet géothermique pour alimenter ce périmètre modifié et qui serait alors appointé par une sous-station relais avec le réseau Eau Surchauffée.
- Extension du périmètre actuel du réseau à un secteur où il serait possible de raccorder entre 4 000 et 5 000 logements qui seraient alimentés par un doublet géothermique et appointé par le réseau d'eau surchauffé.

- [Sevrans](#)

La commune de Sevrans possède deux réseaux de chaleur dont l'un était raccordé à un doublet géothermique. L'autre réseau de Sevrans est en eau surchauffée, mais sa proximité avec une possible zone d'aménagement à la Butte de Montceaux rend envisageable la réalisation d'une boucle d'eau chaude alimentée par une opération de géothermie profonde.

- [Tremblay-en-France](#)

Tremblay-en-France possède déjà un réseau de chaleur géothermique qui alimente plus de 4 000 logements avec un doublet de 220 m³/h à 73°C. Le taux de couverture du réseau géothermique de Tremblay-en-France approche les 80 %.

La possibilité de réaliser un triplet est actuellement en cours d'études.

IV. Groupe 4

Le groupe 4 rassemble toutes les « **Villes où les besoins en surface et/ou les ressources géothermiques (au Dogger) sont jugés insuffisants dans le cadre de cette pré-étude** ». Les données de ce groupe, les cartes et les explications ci-dessous sont disponibles dans le classeur des Fiches-Villes.

	Surface	Dogger	Observations
Coubron			Besoins jugés insuffisants
Gournay-sur-Marne			Besoins jugés insuffisants
L'Île-Saint-Denis			Besoins jugés insuffisants Ressource insuffisante
Livry-Gargan			Besoins jugés insuffisants
Montfermeil			Besoins jugés insuffisants
Neuilly-Plaisance			Besoins jugés insuffisants
Noisy-le-Grand			Besoins jugés insuffisants
Les Pavillons-sous-Bois			Besoins jugés insuffisants
Pierrefitte-sur-Seine			Besoins jugés insuffisants
Le Raincy			Besoins jugés insuffisants
Saint-Ouen			Besoins jugés insuffisants Ressource insuffisante
Vaujours			Besoins jugés insuffisants
Villemomble			Besoins jugés insuffisants

Echelle :



Potentiel Modéré



Potentiel Favorable

Figure 55 : Communes du Groupe 4

- Coubron

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune de Coubron sont jugés insuffisants. En effet, près des ¾ des habitations de la ville sont des maisons, logements incompatibles avec la création d'un réseau de chaleur. Néanmoins, le développement de géothermie individuelle peut être incité.

- [Gournay-sur-Marne](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune de Gournay-sur-Marne sont jugés insuffisants. En effet, près des ¾ des habitations de la ville sont des maisons, logements incompatibles avec la création d'un réseau de chaleur. Néanmoins, le développement de géothermie individuelle peut être incité.

- [L'Île Saint-Denis](#)

Les besoins en surface et le potentiel géologique sont jugés insuffisants pour une opération de géothermie au Dogger sur la commune de L'Île Saint-Denis. L'enquête auprès des bailleurs montre que moins de 1 000 logements sociaux pourraient être raccordés à un réseau de chaleur géothermique. Pour cette raison, la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peuvent néanmoins être étudiées.

- [Livry-Gargan](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune de Livry-Gargan sont jugés insuffisants. La commune possède un habitat social collectif trop peu important (environ 2 200 logements sociaux) pour création d'un réseau de chaleur. Pour cette raison, la réalisation d'une opération de géothermie de moyenne échelle sur un aquifère plus superficiel ou la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peuvent néanmoins être étudiées. La possibilité d'un raccordement de ces logements au réseau de Clichy-sous-Bois peut aussi être envisagée.

- [Montfermeil](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune de Montfermeil sont jugés insuffisants. La commune possède un habitat social collectif potentiellement raccordable à un réseau de chaleur trop peu important (environ 1 000 logements). Pour cette raison, la réalisation au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peuvent néanmoins être étudiées. La possibilité d'un raccordement de ces logements au réseau de Clichy-sous-Bois peut aussi être envisagée.

- [Neuilly-Plaisance](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune de Neuilly-Plaisance sont jugés insuffisants. La commune possède un habitat social collectif trop peu important (moins de 1 000 logements) pour envisager la création d'un réseau de chaleur. Cependant, la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peut néanmoins être étudiée.

- [Noisy-le-Grand](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune de Noisy-le-Grand sont jugés insuffisants. Certes, la commune possède un habitat favorable à la réalisation d'une géothermie au Dogger (environ 6 000 logements sociaux), mais ils sont majoritairement équipés de chauffage électrique ou de chauffage gaz individuel, ce qui les rend incompatibles un raccordement à un réseau de chaleur. Néanmoins, la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peut être étudiée.

- [Les Pavillons-sous-bois](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune des Pavillons-sous-bois sont jugés insuffisants. La commune possède un habitat collectif trop peu important (moins de 1 000 logements sociaux) pour la création d'un réseau de chaleur. Toutefois, la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peut néanmoins être étudiée.

- [Pierrefitte-sur-Seine](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune de Pierrefitte-sur-Seine sont jugés insuffisants. La commune possède un habitat avec des caractéristiques thermiques intéressantes mais celui-ci se trouve en quantité limitée et de façon dispersée (environ 4 000 logements sociaux). De plus, les réseaux de chaleur de Saint-Denis et de Sarcelles alimentent déjà les parties Sud et Nord de la commune. Pour ces raisons, seule la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peuvent néanmoins être étudiées.

- [Le Raincy](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune du Raincy sont jugés insuffisants. Les habitations de la commune sont majoritairement équipées de chauffage électrique ou de chauffage gaz individuel, ce qui rend peu probable un raccordement à un réseau de chaleur. Néanmoins, la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peut être étudiée.

- [Saint-Ouen](#)

Bien que la commune de Saint-Ouen possède le potentiel en surface pour la réalisation d'une opération de géothermie au Dogger, son potentiel sous-sol est jugé insuffisant. Par ailleurs, la ville accueille sur son territoire deux centrales de production de la CPCU dont une partie du réseau dessert déjà Saint-Ouen. Dans ce contexte, le développement d'un 2^e réseau de chaleur à base géothermique est délicat. Malgré cela, la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peut toujours être étudiée.

- [Vaujours](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune de Vaujours sont jugés insuffisants. En effet, près des ¾ des habitations de la ville sont chauffés individuellement, ce qui est incompatible avec la création d'un réseau de chaleur. Toutefois, la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peut être étudiée ou le développement de géothermie individuelle peut être incité.

- [Villemomble](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération géothermique au Dogger, les besoins en surface de la commune de Villemomble sont jugés insuffisants. L'enquête auprès des bailleurs montre que moins de 1 000 logements sociaux pourraient être raccordés à un réseau de chaleur géothermique. C'est pourquoi, la réalisation, au cas par cas, d'une opération de géothermie collective sur eau de nappe peuvent néanmoins être étudiées.

3. Analyse des potentialités au Dogger

A. Aspects économiques des réseaux de chaleur géothermiques

I. Investissements

L'analyse des potentialités de création de nouveaux réseaux de chaleur à base géothermale nécessite une approche économique et en conséquence, à une estimation des investissements. L'évaluation de ces investissements a donc été réalisée à partir de coûts moyens et de ratios qui sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Ces éléments constituent une base pour l'analyse des différents cas en termes de préfaisabilité. Pour les opérations jugées potentiellement intéressantes, c'est l'étude de faisabilité qui permettra d'affiner l'estimation des investissements à réaliser.

(valeur Avril 2010)	Coûts d'investissement (HT)
Géothermie au Dogger	
Réalisation d'un doublet	9 000 k€
Equipements du puits de production (pompage, traitement inhibiteur...)	1 300 k€
Équipements de surface (pompes, échangeurs...)	1 100 k€
Centrale géothermique	2 500 €/m ²
Pompe à Chaleur (y compris équipement et bâtiments)	400 k€/MW
Assurances	
Assurance Long terme	15 000 €/an
Assurance Court terme	3,5 % d'un doublet
Assurance Chantier	5 % d'un doublet + études
Réseau de distribution de Chaleur	
Chaufferie d'appoint (avec équipement et pose)	75 000 €/MW
Réalisation d'une sous-station	53 000 €/unité
Réseau de distribution	1 300 €/ml
Etudes (Avant-projet sommaire à la Réalisation)	8 % (hors assurances)

Figure 56 : Coûts d'investissements retenus pour l'évaluation économique des potentialités

II. Aides financières au montage de l'opération

Les chiffres donnés dans cette partie correspondent à ceux de la « Méthode de calculs du Fonds Chaleur 2010 » et ne sont qu'indicatifs. Toutefois, le chiffrage exact, au cas par cas, des aides disponibles via le Fonds Chaleur devra être effectué en coordination avec l'ADEME. Les niveaux d'aides potentiellement octroyés par l'ADEME sont les suivants :

- Partie Géothermie profonde : « **60 % des dépenses éligibles pour des opérations neuves**, ce qui correspond à une aide comprise entre 2 000 et 3 500 €/TEP sortie installation/an pour l'unité géothermale. Les dépenses éligibles correspondent aux dépenses qui concourent directement à la réalisation d'une opération de géothermie (ingénierie comprise) déduction faite des dépenses qui auraient été réalisées pour une installation de production d'énergie classique à combustible fossile couvrant les mêmes besoins ». Le versement des aides est conditionné à l'adhésion de l'opération au Fonds de garantie géothermique.

- Partie Réseau de Chaleur : « Pour la création d'un réseau neuf (production et distribution), l'investissement doit prévoir que la part énergies renouvelables injectée sur le réseau est d'au moins 50 %. **L'aide au réseau de chaleur est égale à 60% de l'investissement réseau avec plafond d'assiette de l'aide limitée à une valeur en €/mètre linéaire de canalisation.** Pour un réseau Eau Chaude, le plafond de l'assiette est de 1 000 €/ml, soit une aide maximale de 600 €/ml. »

Un fois acceptée, l'aide du Fonds Chaleur est versée en trois fois, 50 % à la signature de la convention, 30 % à la réception de l'installation et 20 % maximum et au prorata de la production réelle sur les deux premières années par rapport à l'engagement initial.

III. Financement de l'opération

Dans le cadre d'une Délégation de Service Public (DSP) avec choix d'un concessionnaire sur 30 ans, l'opération sera financée sur la même période avec un taux d'intérêt de 4,5 %. Le montant financé sera celui de l'investissement total déduit des aides du Fonds Chaleur.

IV. Coût d'exploitation

Afin de pouvoir comparer économiquement les réseaux géothermiques avec les autres moyens de production de chaleur, il est nécessaire de raisonner en coût global. Cette notion tient compte de l'ensemble des frais d'investissements et de fonctionnement (production, distribution et entretien) d'un réseau de chaleur. Le coût global est décomposé en 4 postes :

- Frais d'énergies (P1), de combustibles (Gaz pour appoint) et d'électricité (pour pompage, réinjection de l'eau et distribution de la chaleur), incluant les rendements des différents générateurs. Ce poste sera fonction du taux de couverture de la géothermie et sujet aux évolutions du prix des énergies traditionnelles dont la tendance est inéluctablement à la hausse.

(Valeur Avril 2010)	Coût (€ HT/MWh)
Gaz	40
Electricité	70

- Frais de conduite et de maintenance des installations (P2) en prenant en compte la gestion ;
- Frais pour le gros entretien et le renouvellement des équipements de production (P3) :

(Valeur Avril 2010)	P2 (Conduite – Maintenance)	P3 (Gros entretien / Renouvellement)
Géothermie	6 € HT/kW installation	11 € HT/kW installation
Appoint et Distribution	9 € HT/kW installé	17 € HT/kW installé
Pompe à Chaleur	200 000 € HT (Forfait annuel)	3 % de l'investissement

- Frais liés à l'amortissement et au financement des ouvrages (P4), généralement dépendant des caractéristiques de financement de l'opération.

▪ Comparaison avec le réseau de gaz équivalent

Pour comparer économiquement les réseaux géothermiques proposés dans le Groupe 1, il est donné comme référence un réseau de chaleur au gaz qui devrait être créé pour alimenter le même nombre de logements. Ainsi :

- P1 : 1 MWh utile de chaleur produit avec du gaz, distribué sur le réseau et consommé coûterait 45,6 € HT.
- P2/P3 : En supposant qu'il faille installer 30 MW de puissance gaz pour 70 000 MWh utile par an, la somme des postes P2 et P3 serait égale à 11,1 € HT/MWh utile de chaleur.
- P4 : L'investissement nécessaire à la création d'un tel réseau serait d'environ 10 M€, somme empruntée sur 30 ans à 4,5 %, ce qui fait un P4 à 8,7 € HT/MWh utile de chaleur.

Au final, le coût d'un MWh de chaleur utile produit par un réseau de chaleur au Gaz serait égal à 65,4 € HT.

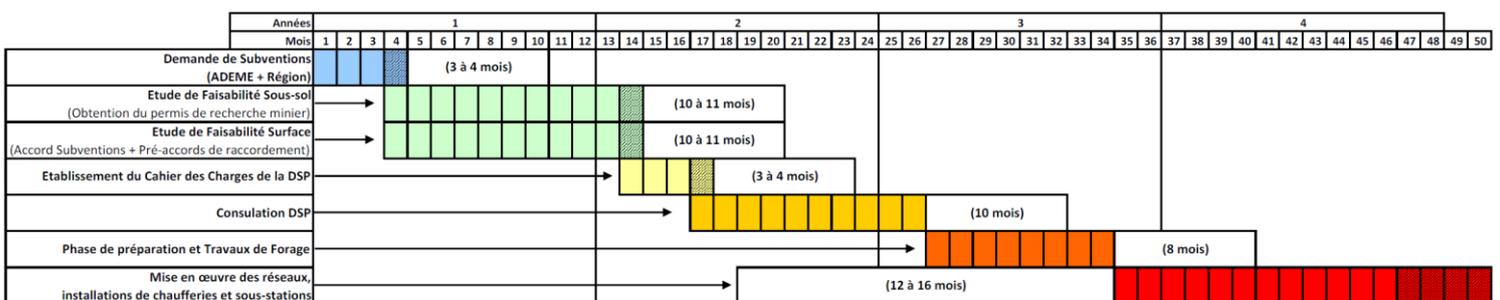
▪ Intérêt d'un raccordement pour un bailleur social

Pour un bailleur social possédant un immeuble de 100 logements chauffé au gaz naturel ayant une consommation unitaire de 10,5 MWh utile/an, la facture totale (en coût global, c.à.d. P1+P2+P3+P4) s'élèverait à 65€ HT/MWh utile (valeur du gaz au 1^{er} avril 2010).

Donc pour être compétitives (c'est-à-dire à -5% d'un coût de référence) par rapport au gaz, les solutions de réseaux géothermique devront proposer un coût global de la chaleur compris entre 57 et 61 € HT / MWh utile (pour rappel, en 2008, prix moyen de vente de la chaleur sur un réseau géothermique = 51,2 € HT / MWh utile).

V. Planification type pour une nouvelle opération de géothermie profonde

La réalisation d'une nouvelle opération de géothermie profonde nécessite une planification sur plusieurs années.



B. Analyse technico-économique pour les villes retenues dans le groupe 1

Le but de cette étude est d'analyser les potentialités au Dogger de la Seine-Saint-Denis il s'agit donc d'une pré faisabilité.

Les résultats (sous-sol et surface) présentés ci-après nécessiteront la réalisation d'une étude de faisabilité complète afin de valider les conclusions de cette étude. L'étude de faisabilité est obligatoire pour éventuellement lancer la réalisation d'un réseau de chaleur géothermique.

Pour l'analyse technico-économique des communes retenues dans le groupe 1, un modèle de calcul commun a été mis en place. Il permet d'obtenir les performances énergétiques et environnementales des différentes solutions à partir des données d'entrée simples :

- nombre de logements ;
- nombre de logements qui utilisent de l'ECS collective et qui possèdent des panneaux de sol ;
- les caractéristiques de la ressource géothermale (T° et débit) ;
- les caractéristiques du réseau à créer (longueur, nombre de sous-stations).

Dans l'évaluation des besoins en chauffage des locaux, 5 kW de chaud sont nécessaires par -7°C, le chauffage est considéré comme arrêté à 17°C. De même, les besoins en ECS sont évalués à 0,5 kW par logement.

Les températures de la ressource géothermique sont sujettes à une incertitude de plus ou moins 1°C en raison de conditions d'extraction de l'eau et de l'aléa géologique. Le débit géothermique a été fixé à 280 m³/h, il s'agit du débit minimal potentiellement atteignable pour toute nouvelle opération au Dogger.

Dans le modèle, les données du réseau proviennent du tracé effectué sur les cartes communales. Pour cette raison, la longueur de réseau est indicative, ainsi que le nombre de sous-stations, dont la quantité dépend du type de chaufferies raccordées au réseau (petite chaufferie d'immeuble ou grosse chaufferie de cité).

En outre, le modèle ne tient pas compte des possibles optimisations de tracé.

Enfin, l'usage de Pompes à Chaleur a aussi été intégré au modèle. Le dimensionnement des PAC est tel qu'elles puissent fournir l'ensemble des besoins en ECS l'été, sans recourir à un appoint au gaz. Le COP des machines employées est de 4. L'intégration du condenseur des PAC sur le réseau de chaleur se fait en aval de l'échangeur géothermique et leur évaporateur en amont de la réinjection (cf. Figure 29). L'appoint au gaz est placé en série des pompes à chaleur.

La solution avec pompes à chaleur a été calculée par défaut à Aubervilliers en raison de sa ressource, jugée « moyenne », et est proposée comme variante dans les autres communes.

Pour finir, **le coût de la chaleur vendue est donné à titre indicatif**. Ce prix correspondrait à celui qui serait effectué par un concessionnaire privé dans le cadre d'une DSP de 30 ans et pour un TRI de 8%.

I. Aubervilliers

• Description technique de l'opération

La commune d'Aubervilliers a été identifiée comme potentiellement intéressante pour la réalisation d'une opération de géothermie profonde. Elle doit essentiellement ce choix aux caractéristiques de son habitat (très majoritairement composé d'immeubles et fortement équipés de chaufferies collectives) plus qu'à ses potentialités au Dogger.

En effet, la ressource est qualifiée de « Moyenne » (température du Dogger = 59°C) et nécessite l'usage de pompes à chaleur pour valoriser au mieux son potentiel.

Toutefois, des précautions seraient à prendre au niveau du sous-sol afin de ne pas empiéter sur les périmètres d'exploitation de Paris Nord-est et de la Courneuve-Sud.

▪ Périmètre retenu

Après cartographie du patrimoine social, le périmètre d'étude retenu concerne les quartiers Robespierre-Cochennec-Péri, Maladrerie-Dubois, Paul Bert, Villette-Quatre Chemins, Firmin Gémier – Sadi Carnot et le centre-ville d'Aubervilliers.

▪ Patrimoine Social Raccordable

Sur la commune d'Aubervilliers, le taux de retour du questionnaire envoyé aux bailleurs a été de 85%, dont la majorité sont détenus par l'OPH communal. Logiquement, ce bailleur est le plus concerné par cette potentielle opération. Dans le périmètre d'étude, environ 6 550 logements sont raccordables et 80 % d'entre eux possèdent des panneaux de sol (caractéristique favorable à la géothermie).

<i>Bailleur</i>	<i>Nb Logements Chauffés au Gaz Collectif</i>	<i>dont ECS Collective</i>	<i>dont panneaux de sol</i>
<i>OPH Aubervilliers</i>	<i>5 655</i>	<i>2 935</i>	<i>4 998</i>
<i>Immobilière 3F</i>	<i>409</i>	<i>409</i>	<i>180</i>
<i>France Habitation</i>	<i>342</i>	<i>248</i>	<i>n.c.</i>
<i>Logement Francilien</i>	<i>99</i>	<i>99</i>	<i>0</i>
<i>LOGIREP</i>	<i>48</i>	<i>0</i>	<i>48</i>
TOTAL	6 553	3 691	5 226 (80 %)

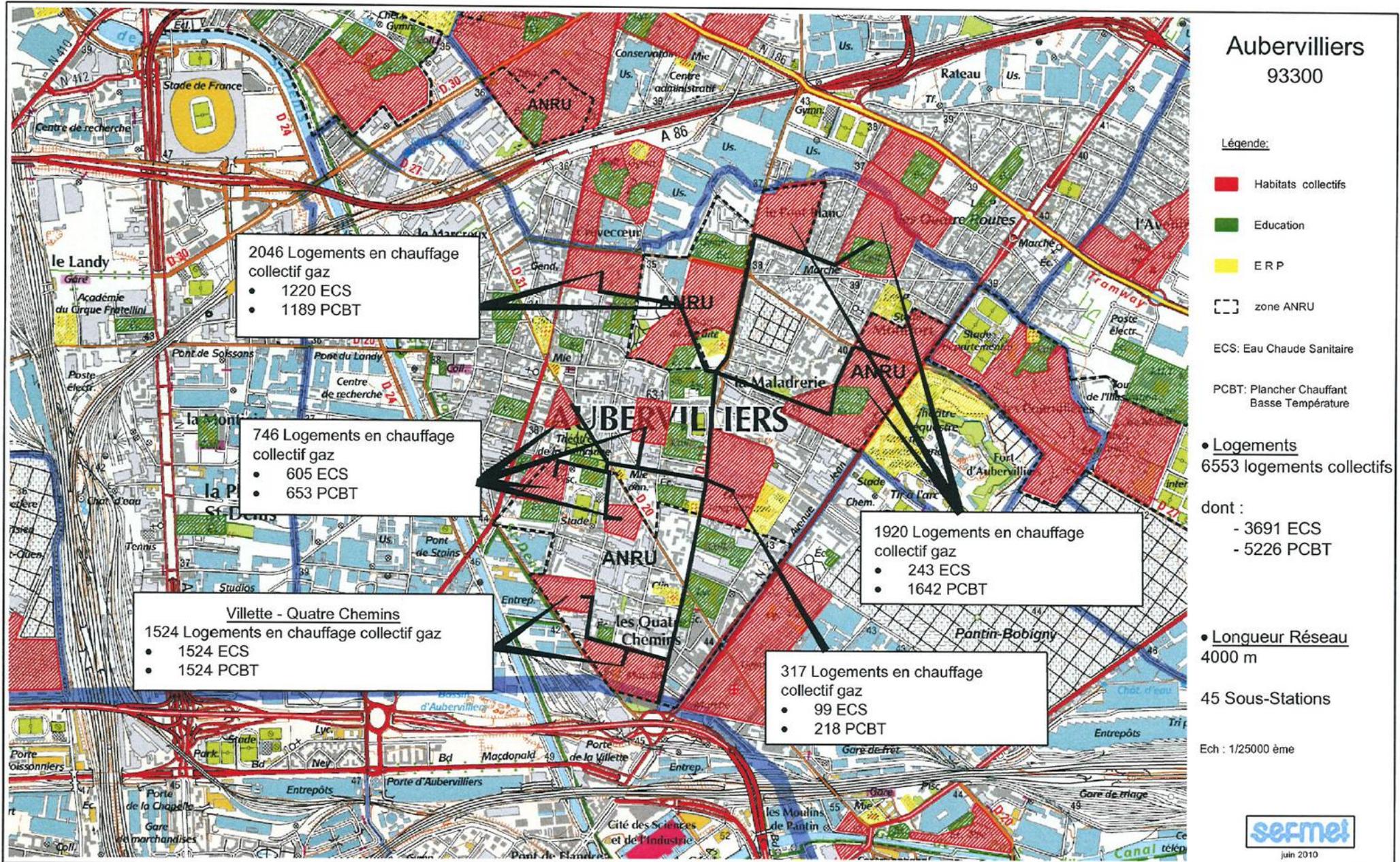
Figure 57 : Patrimoine social potentiellement raccordable dans le périmètre d'étude de la commune d'Aubervilliers

▪ Patrimoine Communal et Départemental

Le patrimoine communal et départemental n'a pas été pris en compte dans le cas d'Aubervilliers.

▪ Carte

La carte montre que le patrimoine social potentiellement raccordable se trouve dans un périmètre restreint. Cela permettrait de présenter un réseau qui serait de « petite » taille (4km).



- Résultats Energétiques et Environnementaux

<u>Données Sous-sol</u>	
Débit Géothermal (m ³ /h)	280
Température d'exhaure	59 °C
<u>Données Surface</u>	
Nombre de logements	6 553
Nombre d'ECS	3 691
Proportion de Radiateurs	20%
Longueur de réseau à créer	4 000 m
Nombre de Sous-stations	45

Figure 58 : Données retenues pour l'étude technico-économique d'Aubervilliers

<u>Performances Energétiques</u>	
Production Totale de Chaleur	80 658 MWh
Besoins des Abonnés (CAF + ECS)	77 556 MWh
Consommation de l'Eq-Log	11,84 MWh utile/an
Fourniture Géothermique	35 205 MWh
Fourniture de l'Appoint PAC	30 409 MWh
Fourniture de l'Appoint Gaz	15 044 MWh
Taux de Couverture moyen	81,3%
Puissance des PAC	6 300 kW
<u>Performances Environnementales</u>	
CO ₂ évités (comparé au gaz)	15 061 tonnes
TEP évitées (comparé au gaz)	3 681 TEP
Contenu en CO ₂	68 gCO ₂ /kWh utile

Figure 59 : Estimation des performances énergétiques et environnementales pour le réseau géothermique d'Aubervilliers

Seule, la géothermie ne couvrirait que 44 % des besoins totaux, d'où l'obligation pour le réseau d'Aubervilliers d'utiliser une PAC.

En raison des caractéristiques favorables du patrimoine potentiellement raccordable (constitué à près de 80% d'émetteurs « Basse Température ») le taux de couverture d'une « Géothermie + PAC » pourrait atteindre environ 81 %. La puissance totale des PAC installées est de 6,3 MW. En termes de bilan environnemental, le contenu en CO₂ d'un tel réseau serait seulement de 68 gCO₂/kWh utile, ce qui en ferait l'un des plus vertueux de la Seine-Saint-Denis.

- Perspectives pour optimiser les résultats

Avec 6 550 logements potentiellement raccordables et l'emploi de pompes à chaleur, la création d'un réseau de chaleur à base géothermale pourrait être assurée. Ultérieurement, plusieurs optimisations et améliorations pourraient aussi être envisagées :

- Intégration du patrimoine communal et départemental ;
- Intégration du patrimoine privé ;
- Intégration du potentiel du Fort d'Aubervilliers ;
- Réalisation d'une distribution de chaleur en cascade ;
- Possibilités d'étendre le réseau de chaleur à des quartiers limitrophes : Les Courtilières et les Quatre Chemins à Pantin (respectivement 2 000 et 1 000 logements potentiellement raccordables).

- [Analyse économique](#)

- Investissements & Aides

Estimation des Investissements Sous-sol		
Forage pour un doublet	9 000 000 €	
Centrale Géothermale (bâtiments et équipements inclus)	3 400 000 €	
Etudes & Assurances	1 806 600 €	
Total Investissement Sous-sol	14 206 600 €	
Estimation des Investissement Surface		
Chaufferies d'appoint et Sous-stations	2 025 000 €	
Equipement des Pompes à Chaleur	1 680 000 €	
Création du réseau de distribution	7 585 000 €	
Etudes	768 800 €	
Total Investissement Surface	12 058 800 €	
Total Investissements	26 265 400 €	
Estimation des Aides du Fonds Chaleur		
Estimation des aides Sous-sol	7 941 600 €	(soit 2158 €/TEP)
Estimation des aides Surface	2 400 000 €	(soit 600 €/ml)
Total Investissements avec Aides	15 923 800 €	

Figure 60 : Estimations des investissements et des aides allouées pour la création d'un réseau à base géothermique sur la commune d'Aubervilliers (valeur Avril 2010)

Les investissements initiaux sont à hauteur de 26 M€. Cette valeur est ramenée à moins de 16 M€ avec les aides potentielles du Fonds Chaleur. Ces valeurs tiennent compte de l'investissement réalisé pour les PAC et des aides du Fonds Chaleur possiblement attribuées à cette aide à la production géothermique.

- Compte d'exploitation prévisionnel

<u>Bilan Comptable Annuel Prévisionnel (Sous-sol & Surface)</u>	(Valeur Avril 2010)
P1 : Energies	1 326 202 €
P2 : Entretien / Conduite	495 181 €
P3 : Gros Entretien / Renouvellement	605 772 €
Autres Charges (y compris amortissements)	1 257 587 €
<u>Total Annuel</u>	3 684 742 €

Figure 61 : Estimation du bilan comptable annuel pour le concessionnaire du réseau d'Aubervilliers

Avec 3,7 M€ HT annuel, pour obtenir un TRI de 8%, le concessionnaire devrait fixer un coût moyen de vente de la chaleur à 51,5 € HT/MWh utile.

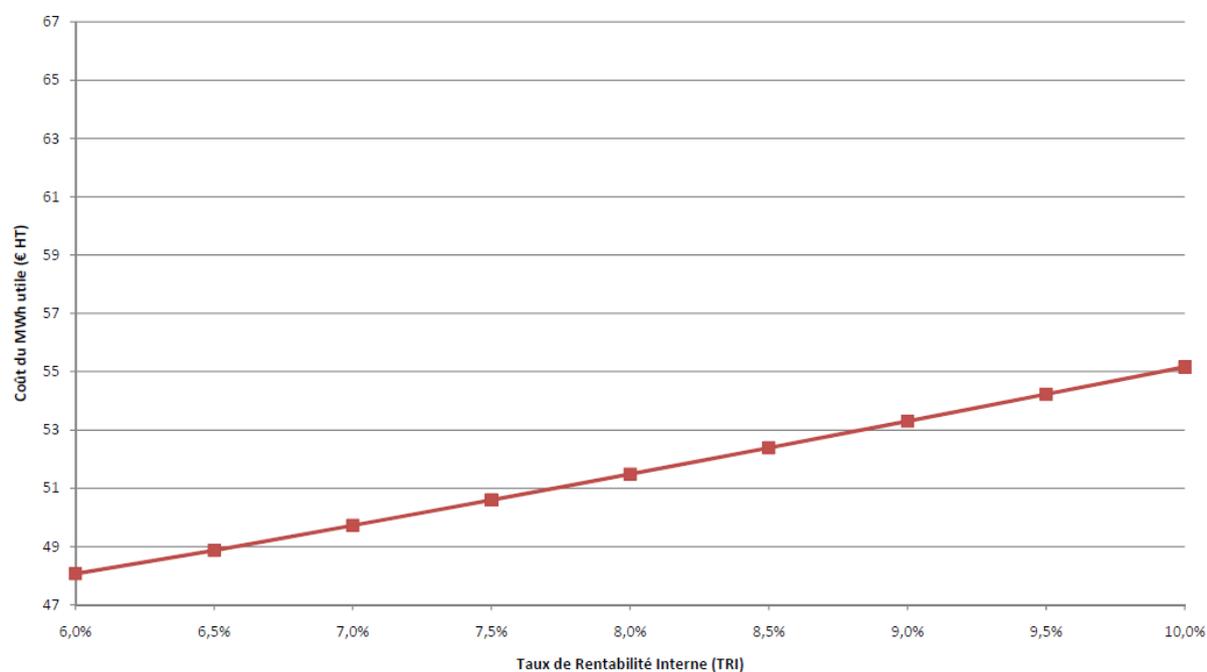


Figure 62 : Evolution du Coût du MWh utile en fonction du TRI voulu par le concessionnaire

II. Drancy

- Description technique de l'opération

La commune de Drancy possède le potentiel en surface suffisant pour justifier d'une opération au Dogger. La méthode de criblage a montré une adéquation entre la ressource sous-sol, qualifiée de « Bonne » et le potentiel surface où une grande partie du patrimoine social de l'Office HLM de Drancy est chauffé collectivement par énergies fossiles.

- Périimètre retenu

Après cartographie du patrimoine social, le périmètre d'étude retenu concerne les quartiers du Village Parisien, de la Muette, de Paris Campagne, du Petit Drancy et le centre-ville.

- Patrimoine Social Raccordable

Dans la commune de Drancy, environ 95 % du patrimoine des bailleurs sociaux est connu. Le principal bailleur est l'office HLM de la ville. L'organisme est le principal contributeur pour cette opération potentielle avec l'office départemental et ICF-La Sablière. Dans le périmètre d'étude, environ 5 300 logements sociaux sont potentiellement raccordables, près de la moitié sont équipés d'un système de production d'ECS collective. Enfin, n'ayant pu obtenir d'informations sur les émetteurs, la proportion de panneaux de sol sera estimée à 30 %.

<i>Bailleur</i>	<i>Nb Logements Chauffés au Gaz Collectif</i>	<i>dont ECS Collective</i>	<i>dont panneaux de sol</i>
<i>OPH Drancy</i>	<i>3 625</i>	<i>1 488</i>	<i>n.c.</i>
<i>OPD Seine-Saint-Denis</i>	<i>871</i>	<i>404</i>	<i>n.c.</i>
<i>ICF – La Sablière</i>	<i>819</i>	<i>685</i>	<i>n.c.</i>
<i>Immobilière 3F</i>	<i>56</i>	<i>0</i>	<i>n.c.</i>
TOTAL	5 371	2 577	Estimé à 30 %

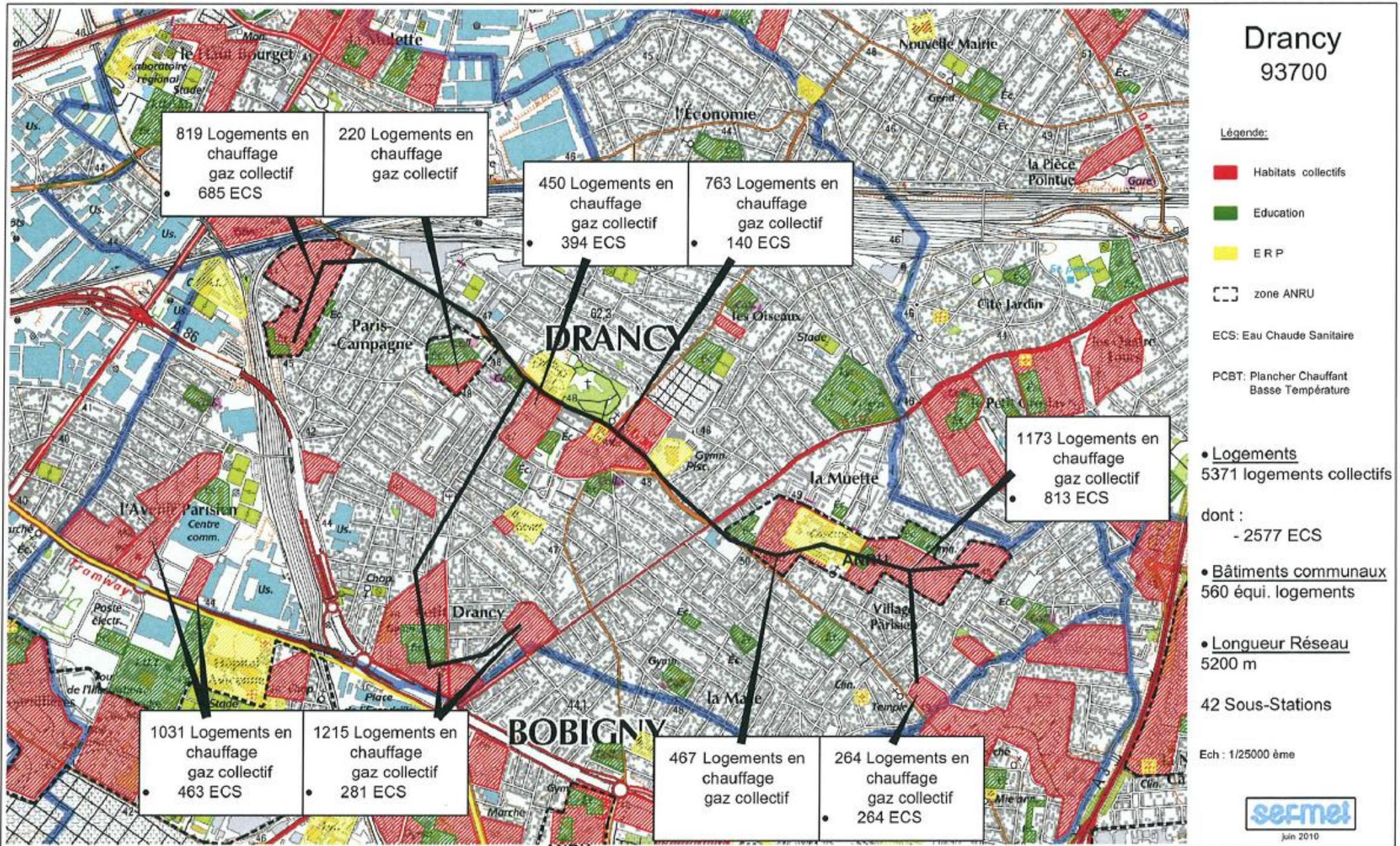
Figure 63 : Patrimoine social potentiellement raccordable dans le périmètre d'étude de la commune de Drancy

- Patrimoine Communal et Départemental

A proximité du probable réseau de chaleur géothermique 6 groupes scolaires, la piscine municipale, l'Hôtel de ville, l'espace culturel et les serres pourraient être rattachés. Ce potentiel s'élève à 560 Equivalent-logements raccordables. Cette valeur est à ajouter aux 5 371 logements déjà identifiés.

- Carte

Suite à la cartographie du patrimoine social de Drancy, il est clairement visible que le réseau raccorde 4 grands pôles répartis sur la ville. En conséquence, le réseau à créer serait important (5,2 km). Enfin, il faut noter que le quartier de l'Avenir Parisien, potentiellement intéressant, ne peut être ajouté à la solution de base car il est isolé du reste de la commune par les voies de chemins de fer. Cependant, un raccordement ultérieur, dans le cadre d'une extension, reste envisageable, sous réserves de faisabilité technique.



- Résultats Energétiques et Environnementaux

<u>Données Sous-sol</u>	
Débit Géothermal (m ³ /h)	280
Température d'exhaure	65 °C
<u>Données Surface</u>	
Nombre de logements	5 931
Nombre d'ECS	2 577
Proportion de Radiateurs	70%
Longueur de réseau à créer	5 200 m
Nombre de Sous-stations	42

Figure 64 : Données retenues pour l'étude technico-économique de Drancy

<u>Performances Energétiques</u>	
Production Totale de Chaleur	69 524 MWh
Besoins des Abonnés (CAF + ECS)	66 850 MWh
Consommation de l'Eq-Log	11,27 MWh utile/an
Fourniture Géothermique	37 484 MWh
Fourniture de l'Appoint	32 040 MWh
Taux de Couverture moyen	53,9%
<u>Performances Environnementales</u>	
CO ₂ évités (comparé au gaz)	9 334 tonnes
TEP évitées (comparé au gaz)	3 223 TEP
Contenu en CO ₂	122 gCO ₂ /kWh utile

Figure 65 : Estimation des performances énergétiques et environnementales pour le réseau géothermique de Drancy

En raison du peu de logements bénéficiant d'un système d'ECS collectif, le taux de couverture de la géothermie sur cette opération potentielle est d'environ 54 %. Avec 122 gCO₂/kWh utile, le réseau de Drancy se situerait entre les réseaux géothermiques de Seine-Saint-Denis utilisant une cogénération et ceux qui n'en utilisent pas, avec toutefois l'avantage d'avoir un mix énergétique avec plus de 50 % d'ENR, ce qui lui permettrait de bénéficier d'une TVA à taux réduit.

- Perspectives pour optimiser les résultats

Certes, les besoins en surface sont suffisants pour la réalisation d'une opération au Dogger mais le réseau géothermique de Drancy pourrait être optimisé avec les quelques propositions suivantes :

- Intégration du patrimoine privé ;
- Raccordement du quartier de l'Avenir Parisien (sous réserves de faisabilité technique) ;
- Création d'une éventuelle extension avec la commune du Bourget (sous réserves de faisabilité technique) ;
- Création d'une éventuelle extension avec les communes du Blanc-Mesnil et de Bobigny pour raccorder le patrimoine identifié sur ces deux communes dans le Groupement 1 ;
- Réalisation d'un réseau de distribution de chaleur en cascade ;
- Intégration d'une Pompe à Chaleur pour la production de l'ECS en été et ainsi augmenter le taux de couverture.

- [Analyse économique](#)

- Investissements & Aides

Estimation des Investissements Sous-sol		
Forage pour un doublet	9 000 000 €	
Centrale Géothermale (bâtiments et équipements)	3 400 000 €	
Etudes & Assurances	1 806 600 €	
Total Investissement Sous-sol	14 206 600 €	
Estimation des Investissement Surface		
Chaufferies d'appoint et Sous-stations	4 251 000 €	
Création du réseau de distribution	6 760 000 €	
Etudes	880 880 €	
Total Investissement Surface	11 891 880 €	
Total Investissements	26 098 480 €	
Estimation des aides du Fonds Chaleur		
Estimation des aides Sous-sol	6 933 600 €	(soit 2151 €/TEP)
Estimation des aides Surface	3 120 000 €	(soit 600 €/ml)
Total Investissements avec Aides	16 044 880 €	

Figure 66 : Estimations des investissements et des aides allouées pour la création d'un réseau de chaleur à base géothermique sur la commune de Drancy (Valeur Avril 2010)

- Compte d'exploitation prévisionnel

<u>Bilan Comptable Annuel Prévisionnel (Sous-sol & Surface)</u>	(Valeur Avril 2010)
P1 : Energies	1 490 644 €
P2 : Entretien / Conduite	274 430 €
P3 : Gros Entretien / Renouvellement	515 780 €
Autres Charges (y compris amortissements)	1 265 020 €
<u>Total Annuel</u>	3 545 873 €

Figure 67 : Estimation du bilan comptable annuel pour le concessionnaire du réseau de Drancy

Avec une estimation de 3,6 M€ HT pour un bilan comptable annuel, un concessionnaire, pour obtenir un TRI de 8%, devrait fixer un coût moyen de vente de la chaleur à 57,7 € HT/MWh utile.

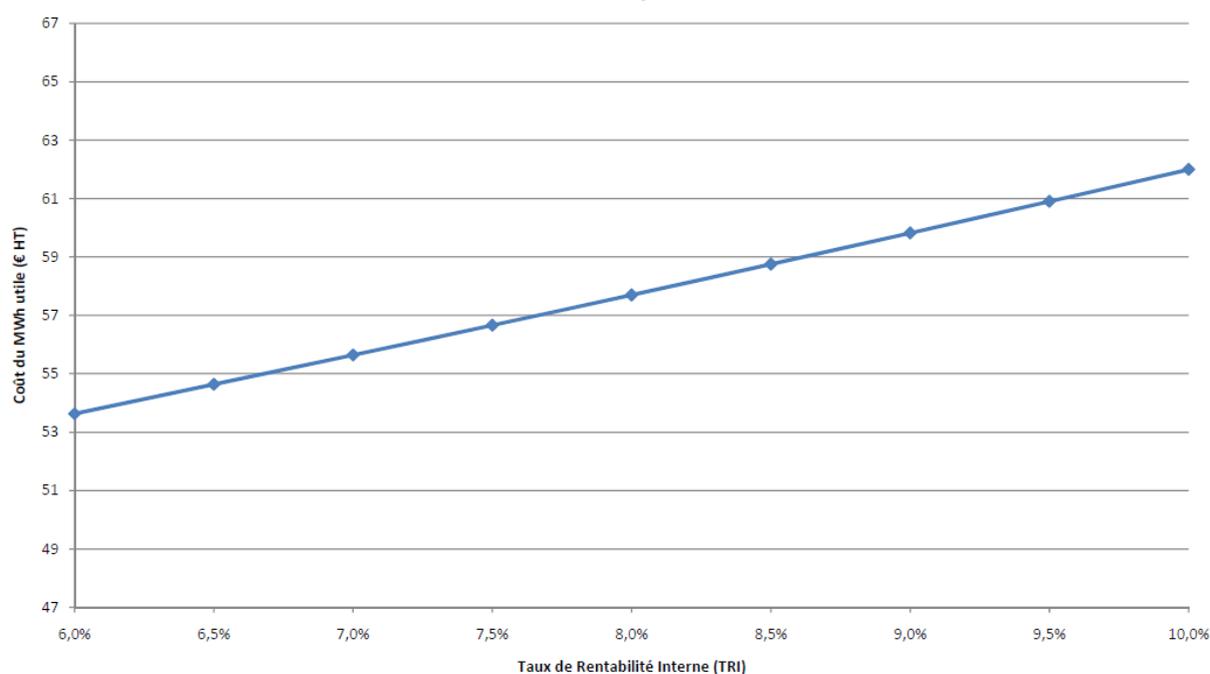


Figure 68 : Evolution du Coût du MWh utile en fonction du TRI voulu par le concessionnaire

III. Montreuil

- Description technique de l'opération

La méthode de criblage a facilement mis en évidence les potentialités de la commune de Montreuil. En effet, il s'agit d'une commune à forte densité d'habitat (environ 12 000 habitants au km²) et avec une forte proportion d'habitat collectif. A Montreuil, un logement sur trois est aussi un logement social dont une très grande majorité est géré par l'office municipal d'HLM. Pour cette raison, le taux de retour du questionnaire envoyé aux bailleurs est de près de 95 %.

- Périimètre retenu

Après cartographie du patrimoine social, le périmètre d'étude retenu concerne les quartiers Ramenas-Léo Lagrange, Branly-Boissière, Montreuil-Le Mourillon, Ruffins Théophile Sueur, Bel Air-Grand Pêcheurs-Renan, Jean Moulin-Beaumont, Signac-Mûrs à Pêches et le centre-ville de Montreuil.

- Patrimoine Social Raccordable

Dans le périmètre d'étude, la majorité des logements sociaux potentiellement raccordables appartient à l'OPH de Montreuil. L'OGIF, OSICA et Immobilière 3F sont aussi concernés par cette création de réseau. Cependant, moins d'un logement sur deux est desservi par un système d'ECS collectif et la proportion de panneaux de sol a été estimée à 40%. L'ensemble de ce patrimoine a été cartographié sur la carte ci-après.

<i>Bailleur</i>	<i>Nb Logements Chauffés au Gaz Collectif</i>	<i>dont ECS Collective</i>	<i>dont panneaux de sol</i>
<i>OPH Montreuil</i>	<i>3 837</i>	<i>1 705</i>	<i>n.c.</i>
<i>OGIF</i>	<i>559</i>	<i>0</i>	<i>361</i>
<i>OSICA</i>	<i>378</i>	<i>0</i>	<i>n.c.</i>
<i>Immobilière 3F</i>	<i>374</i>	<i>301</i>	<i>n.c.</i>
<i>France Habitation</i>	<i>210</i>	<i>0</i>	<i>n.c.</i>
<i>Emmaüs Habitat</i>	<i>97</i>	<i>97</i>	<i>n.c.</i>
TOTAL	5 455	2 103	361 (Estimé à 40 %)

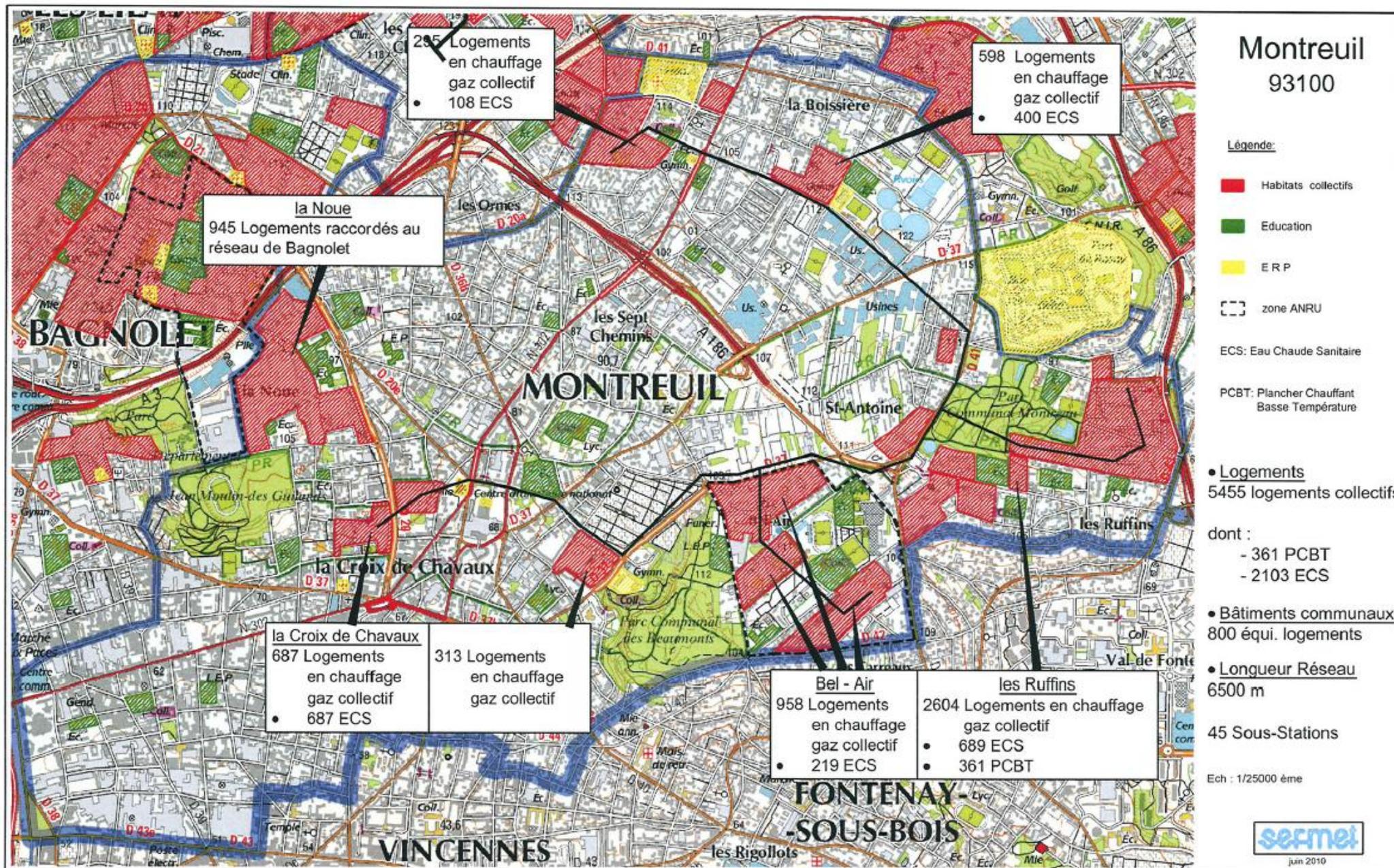
Figure 69 : Patrimoine social potentiellement raccordable dans le périmètre d'étude de la commune de Montreuil

- Patrimoine Communal et Départemental

Parmi le patrimoine communal et départemental, 9 groupes scolaires, l'hôtel de ville de Montreuil, le conservatoire, la bibliothèque centrale, le centre dramatique national et le centre horticole ont été identifiés comme raccordables. Au total, ce patrimoine représente 800 Equivalent-logements à ajouter aux 5 455 logements déjà identifiés.

- Carte

La carte de Montreuil laisse apparaître 4 grands pôles : la Croix de Chaveaux, Bel-Air, les Ruffins et la Boissière et une grande dispersion entre ces pôles, ce qui nécessiterait de créer un réseau d'une longueur importante (6,5 km).



- Résultats Energétiques et Environnementaux

<u>Données Sous-sol</u>	
Débit Géothermal (m ³ /h)	280
Température d'exhaure	64 °C
<u>Données Surface</u>	
Nombre de logements	6 255
Nombre d'ECS	2 103
Proportion de Radiateurs	60%
Longueur de réseau à créer	6 500 m
Nombre de Sous-stations	45

Figure 70 : Données retenues pour l'étude technico-économique de Montreuil

<u>Performances Energétiques</u>	
Production Totale de Chaleur	70 521 MWh
Besoins des Abonnés (CAF + ECS)	67 809 MWh
Consommation de l'Eq-Log	10,84 MWh utile/an
Fourniture Géothermique	36 657 MWh
Fourniture de l'Appoint	33 864 MWh
Taux de Couverture moyen	52,0%
<u>Performances Environnementales</u>	
CO ₂ évités (comparé au gaz)	9 128 tonnes
TEP évitées (comparé au gaz)	3 152 TEP
Contenu en CO ₂	127 gCO ₂ /kWh utile

Figure 71 : Estimation des performances énergétiques et environnementales pour le réseau géothermique de Montreuil

- Perspectives pour optimiser les résultats

Le potentiel réseau de chaleur de Montreuil possède tous les besoins nécessaires pour la réalisation d'une opération au Dogger, cependant, plusieurs paramètres (et notamment la densification du réseau) pourraient être optimisés avec :

- L'intégration du patrimoine privé ;
- L'intégration de l'Université de Paris VIII (présente à dans le quartier Bel-Air) ;
- La réalisation d'un réseau de distribution de chaleur en cascade ;
- Intégration d'une Pompe à Chaleur pour la production de l'ECS en été.

D'autre part, dans une vision prospective, plusieurs actions peuvent aussi être envisagées :

- Désolidarisation du quartier de la Noue (environ 1 000 logements) du réseau de Bagnolet par réalisation d'une boucle d'eau chaude ;
- Raccordement du projet des « Hauts de Montreuil » (finalisation du projet d'ici 2020) à l'éventuel réseau de chaleur. Potentiellement : 3 000 logements, 250 000 m² d'activités et 75 000 m² d'équipements (dont une base de loisirs aquatiques, équipement très favorable à l'utilisation d'une ressource géothermique...);
- Rapprochement avec la ville de Fontenay-sous-Bois. Cette commune possède déjà un réseau de chaleur, mais il est largement alimenté par des énergies fossiles (charbon, fioul et gaz). La proximité de la centrale de production de réseau avec le quartier des Ruffins peut laisser envisager la réalisation d'une opération de géothermie profonde commune à ces deux villes.

- [Analyse économique](#)

- Investissements & Aides

Estimation des Investissements Sous-sol		
Forage pour un doublet	9 000 000 €	
Centrale Géothermale (bâtiments et équipements)	3 400 000 €	
Etudes & Assurances	1 806 600 €	
Total Investissement Sous-sol	14 206 600 €	
Estimation des Investissement Surface		
Chaufferies d'appoint et Sous-stations	4 410 000 €	
Création du réseau de distribution	8 450 000 €	
Etudes	1 028 800 €	
Total Investissement Surface	13 888 800 €	
Total Investissements	28 095 400 €	
Estimation des Aides du Fonds Chaleur		
Estimation des aides Sous-sol	6 933 600 €	(soit 2200 €/TEP)
Estimation des aides Surface	3 900 000 €	(soit 600 €/ml)
Total Investissements avec Aides	17 261 800 €	

Figure 72 : Estimations des investissements et des aides allouées pour la création d'un réseau de chaleur à base géothermale sur la commune de Montreuil (Valeur Avril 2010)

- Compte d'exploitation prévisionnel

<u>Bilan Comptable Annuel Prévisionnel (Sous-sol & Surface)</u>	(Valeur Avril 2010)
P1 : Energies	1 561 860 €
P2 : Entretien / Conduite	283 756 €
P3 : Gros Entretien / Renouvellement	533 410 €
Autres Charges (y compris amortissements)	1 339 729 €
<u>Total Annuel</u>	3 718 754 €

Figure 73 : Estimation du bilan comptable annuel pour le concessionnaire du réseau de Montreuil

Avec une estimation de 3,7 M€ HT pour un bilan comptable annuel, un concessionnaire, pour obtenir un TRI de 8%, devrait fixer un coût moyen de vente de la chaleur à 59,8 € HT/MWh utile. Ce chiffre s'explique par les amortissements importants qu'auraient à supporter le concessionnaire du réseau de Montreuil. En effet, sur cette solution, les investissements en surface sont presque équivalents aux investissements sous-sol.

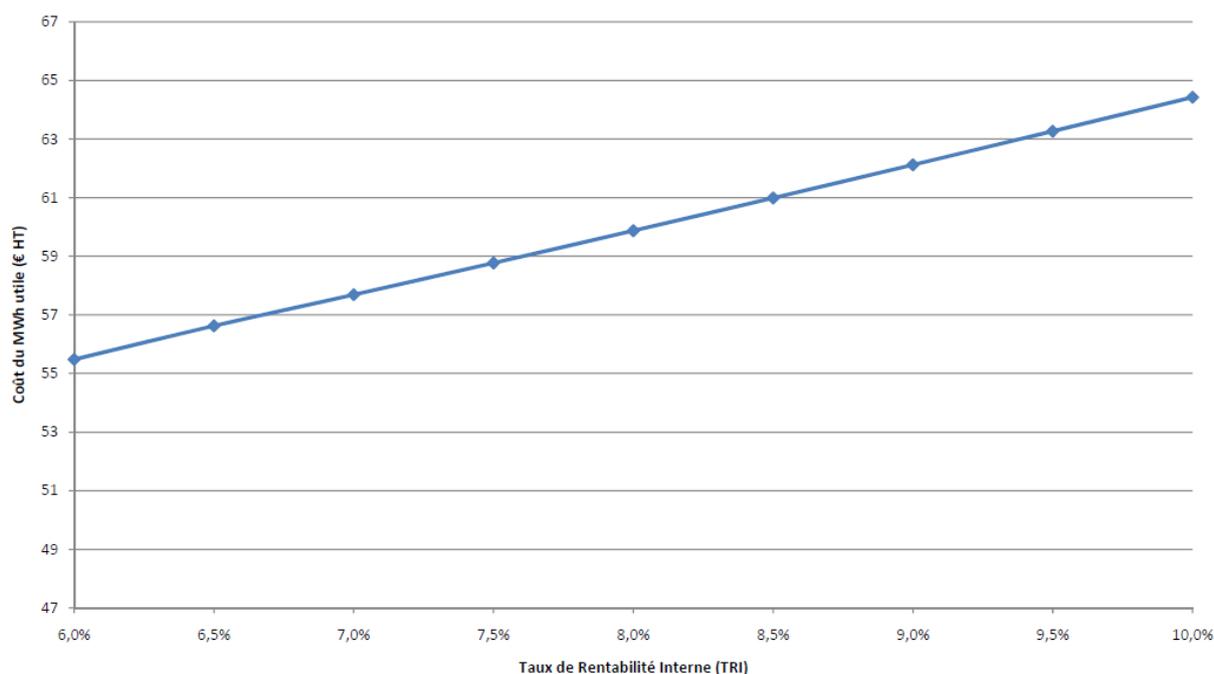


Figure 74 : Evolution du Coût du MWh utile en fonction du TRI voulu par le concessionnaire

IV. Noisy-le-Sec

- Description technique de l'opération

Les potentialités de la commune de Noisy-le-Sec ont été mises en avant par la méthode de criblage. Près d'un logement sur deux dans la ville se trouve être un logement social, mais ce patrimoine est détenu par une dizaine de bailleurs. Il a cependant l'avantage de se trouver dans un faible périmètre et disposer de caractéristiques énergétiques favorables à une géothermie.

- Périmètre retenu

Après cartographie du patrimoine social, le périmètre d'étude retenu concerne les quartiers Merlan, de la Gare, de la Mairie, le Haut Goulet, la Cité des Fleurs, le Londeau et la Boissière.

- Patrimoine Social Raccordable

La commune de Noisy-le-Sec possède deux principaux bailleurs : la SEM Immobilière de Noisy-le-Sec et le Foyer Noiséen. Leurs réponses au questionnaire permettent de connaître la quasi-intégralité (98 %) du patrimoine social communal. Une grande portion de ce patrimoine est chauffée collectivement au gaz et possède un système de production d'ECS collectif, ce qui en fait un potentiel intéressant pour un réseau de chaleur. Cependant, les émetteurs de chaleur ne sont pas tous identifiés sur les logements recensés, la proportion de panneaux de sol sera évaluée à 60 %. Au final, 80 % du patrimoine social de Noisy-le-Sec pourrait être potentiellement raccordable par un réseau de chaleur à base géothermale.

<i>Bailleur</i>	<i>Nb Logements Chauffés au Gaz Collectif</i>	<i>dont ECS Collective</i>	<i>dont panneaux de sol</i>
<i>Le Foyer Noiséen</i>	<i>1 887</i>	<i>1 314</i>	<i>n.c.</i>
<i>SEMINO</i>	<i>1 363</i>	<i>1 363</i>	<i>662</i>
<i>LOGIREP</i>	<i>864</i>	<i>864</i>	<i>864</i>
<i>OPD Seine-Saint-Denis</i>	<i>782</i>	<i>0</i>	<i>n.c.</i>
<i>ICF – La Sablière</i>	<i>398</i>	<i>398</i>	<i>n.c.</i>
<i>Toit & Joie</i>	<i>28</i>	<i>0</i>	<i>n.c.</i>
TOTAL	5 322	3 939	1 526 (Estimé à 60 %)

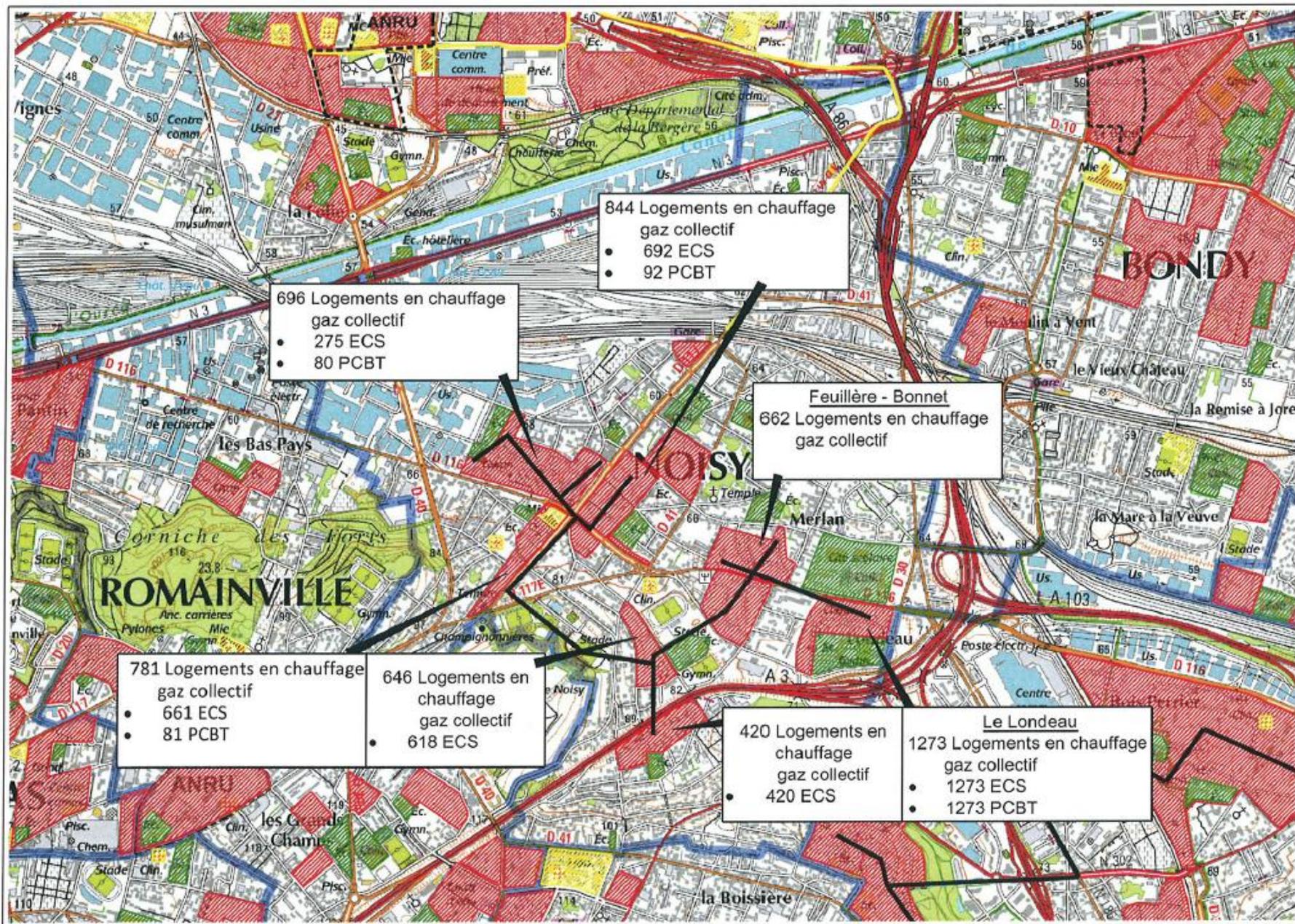
Figure 75 : Patrimoine social potentiellement raccordable dans le périmètre d'étude de la commune de Noisy-le-Sec

- Patrimoine Communal et Départemental

Non loin du potentiel réseau de chaleur géothermique, plusieurs équipements ont été identifiés comme éventuellement raccordables : 1 collège, 3 groupes scolaires, l'Hôtel de ville, la piscine municipale, la médiathèque et le théâtre. Ce patrimoine représenterait 393 équivalent-logements qui viendraient compléter les 5 322 logements déjà identifiés.

- Carte

La cartographie du patrimoine social potentiellement raccordable montre que le réseau de chaleur à créer serait de faible longueur (environ 3,5 km) et qu'il desservirait de nombreuses cités, induisant un faible nombre de sous-stations.



Noisy-le-Sec 93130

Légende:

■ Habitats collectifs

■ Education

■ E R P

 zone ANRU

ECS: Eau Chaude Sanitaire

PCBT: Plancher Chauffant Basse Température

• Logements
5322 logements collectifs

dont :

- 1526 PCBT
- 3939 ECS

• Bâtiments communaux
393 équ. logements

• Longueur Réseau
3500m

35 Sous-Stations

Ech : 1/25000 ème



juin 2010

- Résultats Energétiques et Environnementaux

<u>Données Sous-sol</u>	
Débit Géothermal (m ³ /h)	280
Température d'exhaure	63 °C
<u>Données Surface</u>	
Nombre de logements	5 715
Nombre d'ECS	3 939
Proportion de Radiateurs	60%
Longueur de réseau à créer	3 500 m
Nombre de Sous-stations	35

Figure 76 : Données retenues pour l'étude technico-économique de Noisy-le-Sec

<u>Performances Energétiques</u>	
Production Totale de Chaleur	73 624 MWh
Besoins des Abonnés (CAF + ECS)	70 792 MWh
Consommation de l'Eq-Log	12,39 MWh utile/an
Fourniture Géothermique	37 171 MWh
Fourniture de l'Appoint	36 453 MWh
Taux de Couverture moyen	50,5%
<u>Performances Environnementales</u>	
CO ₂ évités (comparé au gaz)	9 256 tonnes
TEP évitées (comparé au gaz)	3 196 TEP
Contenu en CO ₂	131 gCO ₂ /kWh utile

Figure 77 : Estimation des performances énergétiques et environnementales pour le réseau géothermique de Noisy-le-Sec

En raison du nombre important de systèmes d'ECS collectif et à cause de la température disponible au Dogger (seulement 63 °C), il aura toujours lieu de réaliser un appoint par chaudière pour atteindre la température d'eau chaude voulue (67°C). C'est pourquoi le taux de couverture de la géothermie à Noisy-le-Sec n'est que de 50,5 % et son contenu en CO₂ élevé (131 gCO₂/kWh utile) par rapport aux autres solutions du Groupe 1.

- Perspectives pour optimiser les résultats

Comme l'ont montrés les résultats énergétiques, le taux de couverture, dans les conditions actuelles, serait de 50,5 %. Quelques optimisations peuvent néanmoins être envisagées :

- Réalisation d'un réseau de distribution en cascade (particulièrement intéressant pour la cité du Londeau qui se trouverait en bout de réseau avec des émetteurs « basse température ») ;
- Installation d'une Pompe à Chaleur pour satisfaire les besoins ECS en été plutôt que l'emploi d'une chaudière gaz ;
- Intégration du patrimoine privé ayant de préférence des caractéristiques favorables à la géothermie (équipés de panneaux de sol par exemple).

- [Analyse économique](#)

- Investissements & Aides

Estimation des Investissements Sous-sol		
Forage pour un doublet	9 000 000 €	
Centrale Géothermale (bâtiments et équipements)	3 400 000 €	
Etudes & Assurances	1 806 600 €	
Total Investissement Sous-sol	14 206 600 €	
Estimation des Investissement Surface		
Chaufferies d'appoint et Sous-stations	3 880 000 €	
Création du réseau de distribution	4 550 000 €	
Etudes	674 400 €	
Total Investissement Surface	9 104 400 €	
Total Investissements	23 311 000 €	
Estimation des Aides du Fonds Chaleur		
Estimation des aides Sous-sol	6 933 600 €	(soit 2169 €/TEP)
Estimation des aides Surface	2 100 000 €	(soit 600 €/ml)
Total Investissements avec Aides	14 277 400 €	

Figure 78 : Estimations des investissements et des aides allouées pour la création d'un réseau à base géothermique sur la commune de Noisy-le-Sec (Valeur Avril 2010)

Comme le réseau est très dense (environ 1 600 logements/km), les investissements à réaliser pour la création du réseau de distribution sont réduites par rapport à toutes les autres solutions. Avec les aides du Fonds Chaleur potentiellement accordées, l'investissement total pour la création d'un réseau à base géothermique serait seulement de 14 M€.

- Compte d'exploitation prévisionnel

<u>Bilan Comptable Annuel Prévisionnel (Sous-sol & Surface)</u>	(Valeur Avril 2010)
P1 : Energies	1 670 669 €
P2 : Entretien / Conduite	268 928 €
P3 : Gros Entretien / Renouvellement	505 612 €
Autres Charges (y compris amortissements)	1 156 512 €
<u>Total Annuel</u>	3 601 721 €

Figure 79 : Estimation du bilan comptable annuel pour le concessionnaire du réseau de Noisy-le-Sec

Pour un concessionnaire souhaitant obtenir un TRI de 8% sur 30 ans, le coût moyen de vente de la chaleur serait de 54,6 € HT/MWh utile.

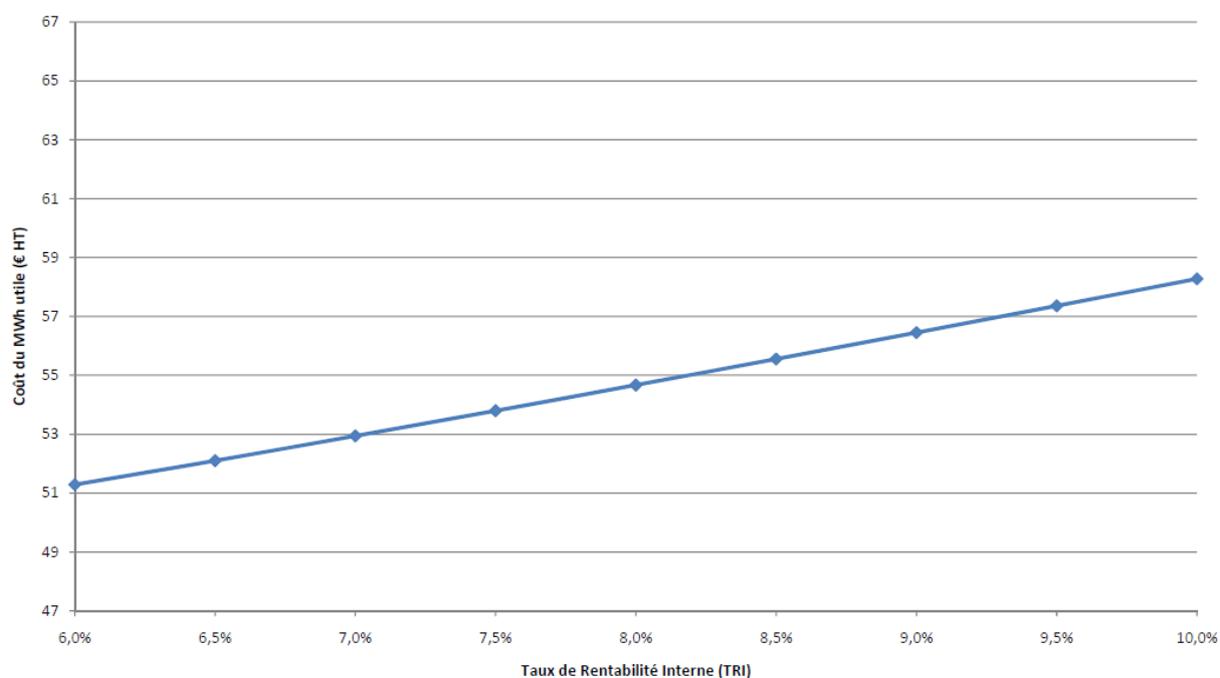


Figure 80 : Evolution du Coût du MWh utile en fonction du TRI voulu par le concessionnaire

V. Rosny-sous-Bois

• Description technique de l'opération

La commune de Rosny-sous-Bois a été mise en avant par la méthode de criblage pour sa ressource sous-sol. En surface, la proportion de logements sociaux sur la ville n'est que de 16% (4 500 logements).

Toutefois, d'importantes copropriétés privées existent et réfléchissent à une solution pour les différentes contraintes liées à leurs installations (devenir du réseau de chauffage d'ICADE suite aux différentes sessions immobilières du bailleur et chaufferie classée Seveso pour le quartier de La Boissière). Tous ces éléments aboutissent à une réflexion globale sur une opération au Dogger.

▪ Périimètre retenu

Après cartographie du patrimoine social, le périmètre d'étude retenu concerne les quartiers du Bois-Perrier, des Marnaudes, de la Saussaie-Beauclair, de la Boissière, du Parc de Nanteuil, du Fort de Rosny, du Pré-Gentil, des Boutours et du centre-ville de Rosny-sous-Bois.

▪ Patrimoine Raccordable

Le taux de retour du questionnaire envoyé aux bailleurs a été de 98% et environ 2/3 du patrimoine social de la commune est potentiellement raccordable.

<i>Bailleur</i>	<i>Nb Logements Chauffés au Gaz Collectif</i>	<i>dont ECS Collective</i>	<i>dont panneaux de sol</i>
LOGIREP	1 016	360	927
OPH Seine-Saint-Denis	796	0	112
OSICA	579	357	222
ICF – La Sablière	381	0	381
OGIF	240	240	240
TOTAL	3 012	957	1 882

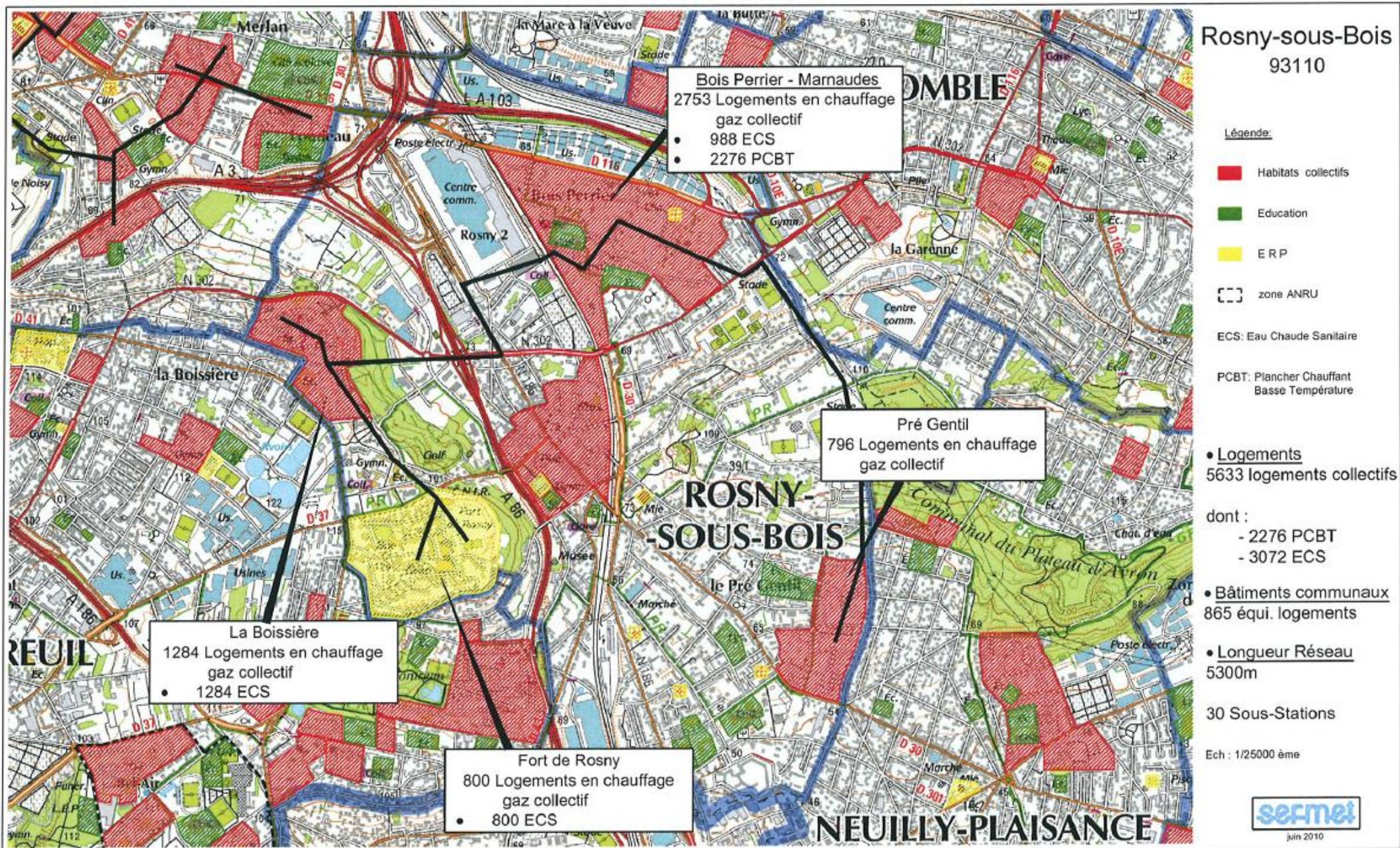
Figure 81 : Patrimoine social potentiellement raccordable dans le périmètre d'étude de la commune de Rosny-sous-Bois

Outre le patrimoine privé situé dans les quartiers de la Boissière et du Bois Perrier, les logements du Fort de Rosny sont aussi potentiellement raccordables à un réseau de chaleur géothermique.

	<i>Nb Logements Chauffés au Gaz Collectif</i>	<i>dont ECS Collective</i>	<i>dont panneaux de sol</i>
<i>Copropriétés</i>	1 821	1 315	506
<i>Fort de Rosny</i>	800	800	0
TOTAL	2 621	2 115	506

Figure 82 : Patrimoine privé potentiellement raccordable dans le périmètre d'étude de la commune de Rosny-sous-Bois

Au total, sur la commune, 5 633 logements sont raccordables, 42 % d'entre-eux sont équipés d'émetteurs « Basse Température » et environ 3 100 de systèmes d'ECS collectifs.



- Patrimoine Communal et Départemental

A proximité du réseau de chaleur géothermique potentiellement réalisable, environ 865 équivalent-logements pourraient être rajoutés. Parmi eux, le raccordement des installations thermiques de la partie Centre Technique de la Gendarmerie Française du Fort de Rosny, le Centre Nautique et ainsi plusieurs groupes scolaires et résidences pour personnes âgées.

- Carte

Le potentiel raccordable de la commune de Rosny-sous-Bois est regroupé entre 4 pôles distincts. Le passage du réseau de chaleur sous les chemins de fer peut être assuré par une galerie située sous les voies. De même, un carrefour placé sous l'autoroute A86 permet de faire cheminer la distribution de chaleur jusqu'au quartier de la Boissière.

- Résultats Energétiques et Environnementaux

<u>Données Sous-sol</u>	
Débit Géothermal (m ³ /h)	280
Température d'exhaure	65 °C
<u>Données Surface</u>	
Nombre de logements	6 498
Nombre d'ECS	3 072
Proportion de Radiateurs	58%
Longueur de réseau à créer	5 300 m
Nombre de Sous-stations	30

Figure 83 : Données retenues pour l'étude technico-économique de Rosny-sous-Bois

<u>Performances Energétiques</u>	
Production Totale de Chaleur	77 303 MWh
Besoins des Abonnés (CAF + ECS)	74 330 MWh
Consommation de l'Eq-Log	11,44 MWh utile/an
Fourniture Géothermique	40 891 MWh
Fourniture de l'Appoint	36 411 MWh
Taux de Couverture moyen	52,9%
<u>Performances Environnementales</u>	
CO ₂ évités (comparé au gaz)	10 182 tonnes
TEP évitées (comparé au gaz)	3 516 TEP
Contenu en CO ₂	125 gCO ₂ /kWh utile

Figure 84 : Estimation des performances énergétiques et environnementales pour le réseau géothermique de Rosny-sous-Bois

Grâce à la température de la ressource au Dogger, les performances environnementales du potentiel réseau de chaleur géothermique de Rosny-sous-Bois sont intéressantes. De toutes les solutions proposées, il posséderait la plus importante fourniture géothermique avec 41 GWh/an, éviterait environ 10 000 tonnes de CO₂ par rapport au même réseau gaz et aurait un taux de couverture de 52,9 %

- Perspectives pour optimiser les résultats

Bien que présentant des résultats intéressants, le réseau de chaleur pourrait être optimisé par les mesures suivantes :

- Raccordement du Centre Commercial de Rosny 2 (chauffé avec des chaudières gaz) ;
- Raccordement du patrimoine privé à proximité du réseau de chaleur ;
- Réalisation d'un réseau de distribution de chaleur en cascade (particulièrement intéressant avec le centre nautique...);
- Raccordement des futures ZAC de la commune ;
- Intégration d'une Pompe à Chaleur pour la production de l'ECS en été et ainsi augmenter le taux de couverture.

- Analyse économique

- Investissements & Aides

<u>Estimation des Investissements Sous-sol</u>		
Forage pour un doublet	9 000 000 €	
Centrale Géothermale (bâtiments et équipements)	3 400 000 €	
Etudes & Assurances	1 806 600 €	
<u>Total Investissement Sous-sol</u>	14 206 600 €	
<u>Estimation des Investissement Surface</u>		
Chaufferies d'appoint et Sous-stations	3 615 000 €	
Création du réseau de distribution	6 890 000 €	
Etudes	840 400 €	
<u>Total Investissement Surface</u>	11 345 400 €	
<u>Total Investissements</u>	25 552 000 €	
<u>Estimation des Aides du Fonds Chaleur</u>		
Estimation des aides Sous-sol	6 933 600 €	(soit 1986 €/TEP)
Estimation des aides Surface	3 180 000 €	(soit 600 €/ml)
<u>Total Investissements avec Aides</u>	15 438 400 €	

Figure 85 : Estimations des investissements et des aides allouées pour la création d'un réseau à base géothermique sur la commune de Rosny-sous-Bois (Valeur Avril 2010)

- Compte d'exploitation prévisionnel

<u>Bilan Comptable Annuel Prévisionnel (Sous-sol & Surface)</u>	(Valeur Avril 2010)
P1 : Energies	1 696 396 €
P2 : Entretien / Conduite	298 311 €
P3 : Gros Entretien / Renouvellement	560 837 €
Autres Charges (y compris amortissements)	1 227 787 €
<u>Total Annuel</u>	3 783 330 €

Figure 86 : Estimation du bilan comptable annuel pour le concessionnaire du réseau de Rosny-sous-Bois

Dans le cadre d'une DSP sur 30 ans avec un concessionnaire, si celui-ci souhaite obtenir un TRI de 8%, le coût moyen de la chaleur vendue serait de 54,7 € HT/MWh utile.

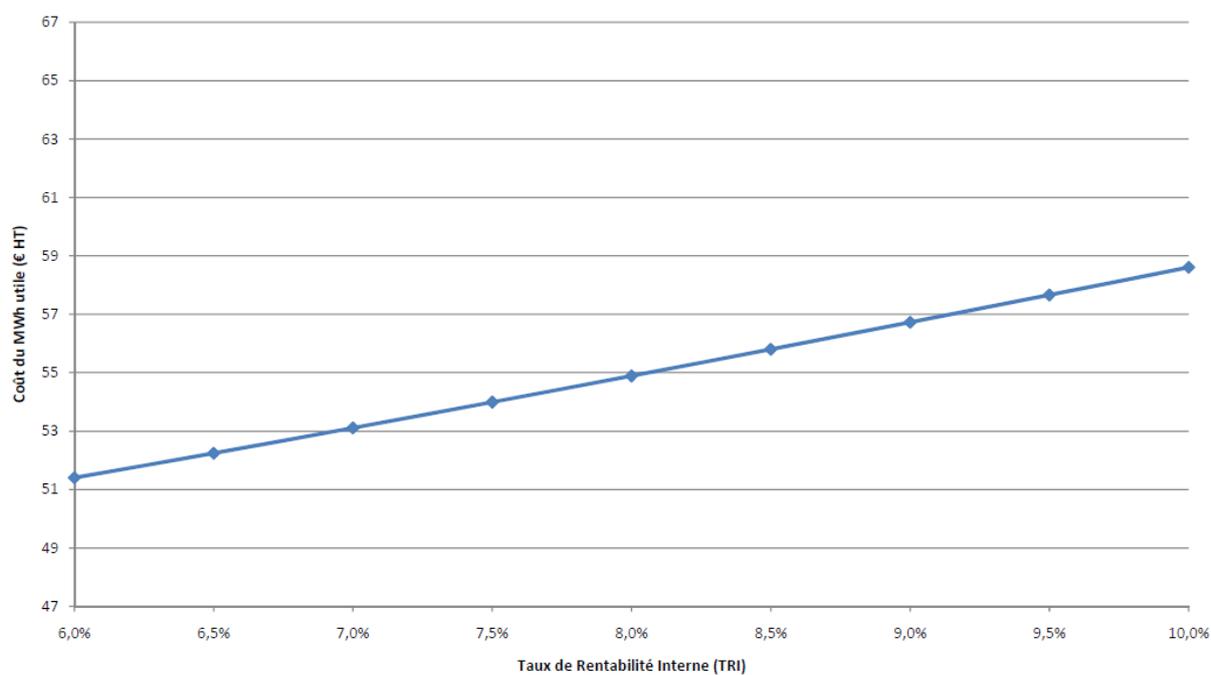


Figure 87 : Evolution du Coût du MWh utile en fonction du TRI voulu par le concessionnaire

VI. Groupement 1 (Drancy, Le Blanc-Mesnil, Bobigny)

- Description technique de l'opération

Ce groupement a été mis en évidence par la cartographie de l'ensemble des données des bailleurs sociaux et son potentiel a été confirmé lors de son intégration à la méthode de criblage. L'idée était de rapprocher deux zones de concentration urbaine clairement identifiées (sud du Blanc-Mesnil et nord-est de Bobigny – cf. Groupe 2), non raccordables aux réseaux de chaleur présents sur leurs communes respectives et de les associer à une partie du potentiel réseau de Drancy.

- Périimètre retenu

Le périmètre retenu est le suivant : le quartier de l'Abreuvoir à Bobigny, les 7 cités du sud du Blanc-Mesnil, et l'est de Drancy.

- Patrimoine Social Raccordable

Le patrimoine social potentiellement raccordable est distingué ci-dessous pour les 3 communes du Groupement 1. Ce recensement ne tient pas compte de 500 logements se trouvant dans le périmètre d'étude du Blanc-Mesnil et qui pourraient être ajoutés à la synthèse mais aucune information n'est disponible sur leurs caractéristiques énergétiques.

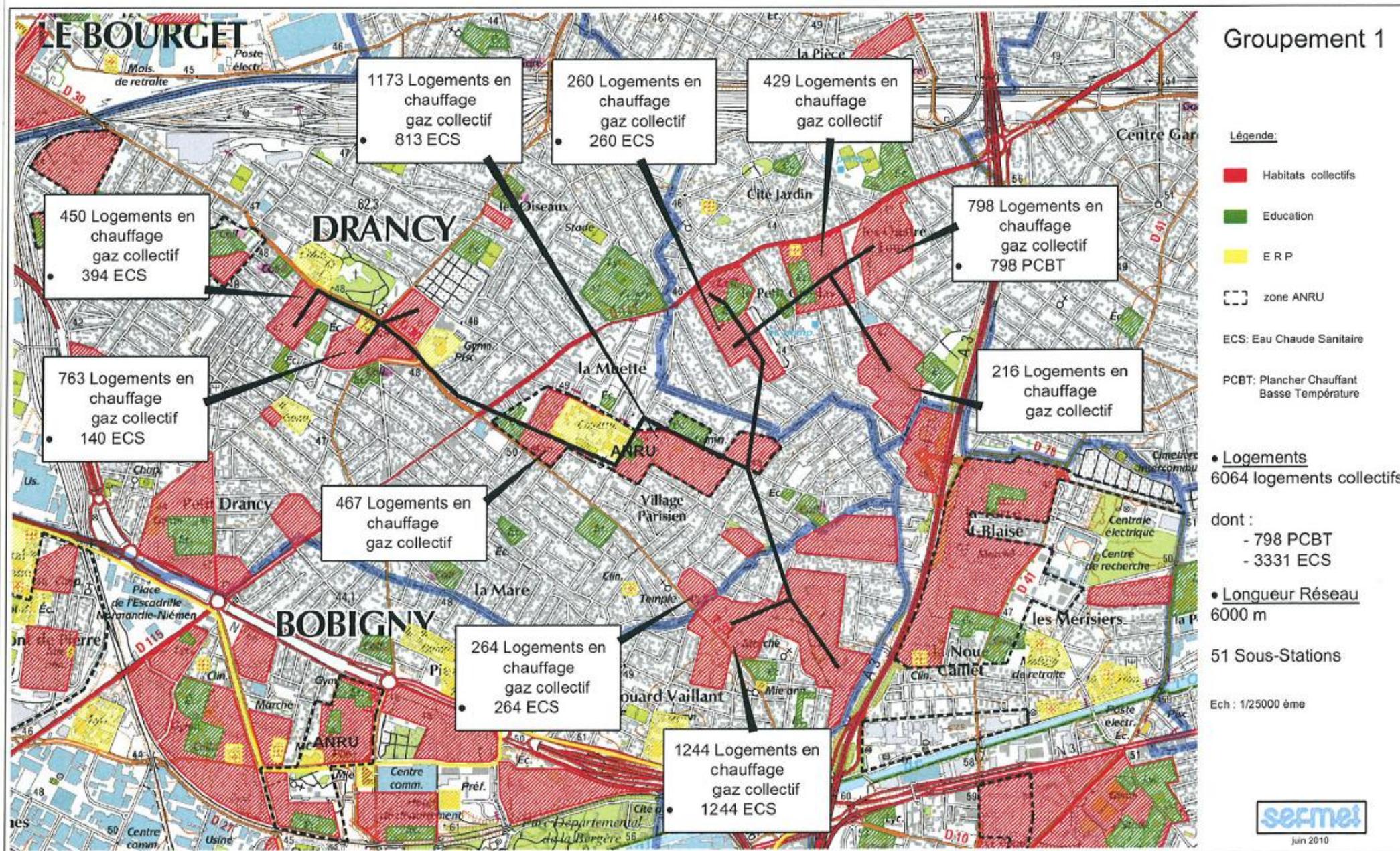
<i>Bailleur</i>	<i>Nb Logements Chauffés au Gaz Collectif</i>	<i>dont ECS Collective</i>	<i>dont panneaux de sol</i>
Drancy			
<i>OPH Drancy</i>	2 190	1 207	<i>n.c.</i>
<i>OPD Seine-Saint-Denis</i>	871	404	<i>n.c.</i>
<i>Immobilière 3F</i>	56	0	<i>n.c.</i>
Sous-total	3 117	1 611	-
Bobigny			
<i>OPD Seine-Saint-Denis</i>	1 244	1 244	<i>n.c.</i>
Sous-total	1 244	1 244	-
Blanc-Mesnil			
<i>Emmaüs Habitat</i>	905	476	<i>n.c.</i>
<i>OPIEVOY</i>	798	0	798
Sous-total	1 703	476	798
TOTAL	6 064	3 331	798 (Estimé à 30 %)

Figure 88 : Patrimoine social potentiellement raccordable dans le périmètre d'étude du Groupement 1

- Patrimoine Communal et Départemental

Le patrimoine communal et départemental n'a été pris en compte dans le cas du Groupement 1.

- Carte



- Résultats Energétiques et Environnementaux

<u>Données Sous-sol</u>	
Débit Géothermal (m ³ /h)	280
Température d'exhaure	65 °C
<u>Données Surface</u>	
Nombre de logements	6 064
Nombre d'ECS	3 331
Proportion de Radiateurs	70%
Longueur de réseau à créer	6 000 m
Nombre de Sous-stations	51

Figure 89 : Données retenues pour l'étude technico-économique du Groupement 1

<u>Performances Energétiques</u>	
Production Totale de Chaleur	74 255 MWh
Besoins des Abonnés (CAF + ECS)	71 398 MWh
Consommation de l'Eq-Log	11,77 MWh utile/an
Fourniture Géothermique	39 119 MWh
Fourniture de l'Appoint	35 136 MWh
Taux de Couverture moyen	52,7%
<u>Performances Environnementales</u>	
CO ₂ évités (comparé au gaz)	9 741 tonnes
TEP évitées (comparé au gaz)	3 364 TEP
Contenu en CO ₂	126 gCO ₂ /kWh utile

Figure 90 : Estimation des performances énergétiques et environnementales pour le réseau géothermique du Groupement 1

- Perspectives pour optimiser les résultats

Certes le Groupement 1 possède indéniablement des atouts pour la réalisation d'une opération de géothermie au Dogger, mais il intègre la moitié de son patrimoine raccordable provient de Drancy. C'est pourquoi, la principale amélioration possible serait de fusionner le potentiel réseau de Drancy avec celui du Groupement 1.

Néanmoins d'autres optimisations sont aussi possibles :

- Intégration du patrimoine communal et départemental ;
- Intégration du patrimoine privé ;
- Réalisation d'une distribution de chaleur en cascade.

- [Analyse économique](#)

- Investissements & Aides

Estimation des Investissements Sous-sol		
Forage pour un doublet	9 000 000 €	
Centrale Géothermale (bâtiments et équipements)	3 400 000 €	
Etudes & Assurances	1 806 600 €	
Total Investissement Sous-sol	14 206 600 €	
Estimation des Investissement Surface		
Chaufferies d'appoint et Sous-stations	4 728 000 €	
Création du réseau de distribution	7 800 000 €	
Etudes	1 002 240 €	
Total Investissement Surface	13 530 240 €	
Total Investissements	27 736 840 €	
Estimation des Aides du Fonds Chaleur		
Estimation des aides Sous-sol	6 933 600 €	(soit 2061 €/TEP)
Estimation des aides Surface	3 600 000 €	(soit 600 €/ml)
Total Investissements avec Aides	17 203 240 €	

Figure 91 : Estimations des investissements et des aides allouées pour la création d'un réseau à base géothermique pour le Groupement 1 (Valeur Avril 2010)

- Compte d'exploitation prévisionnel

<u>Bilan Comptable Annuel Prévisionnel (Sous-sol & Surface)</u>	(Valeur Avril 2010)
P1 : Energies	1 625 505 €
P2 : Entretien / Conduite	282 262 €
P3 : Gros Entretien / Renouvellement	530 604 €
Autres Charges (y compris amortissements)	1 336 133 €
<u>Total Annuel</u>	3 774 504 €

Figure 92 : Estimation du bilan comptable annuel pour le concessionnaire du réseau du Groupement 1

Avec une délégation de service public, si le concessionnaire souhaite obtenir un TRI de 8% sur 30 ans, il serait obligé de vendre la chaleur a un coût moyen de 57,6 € HT/MWh utile.

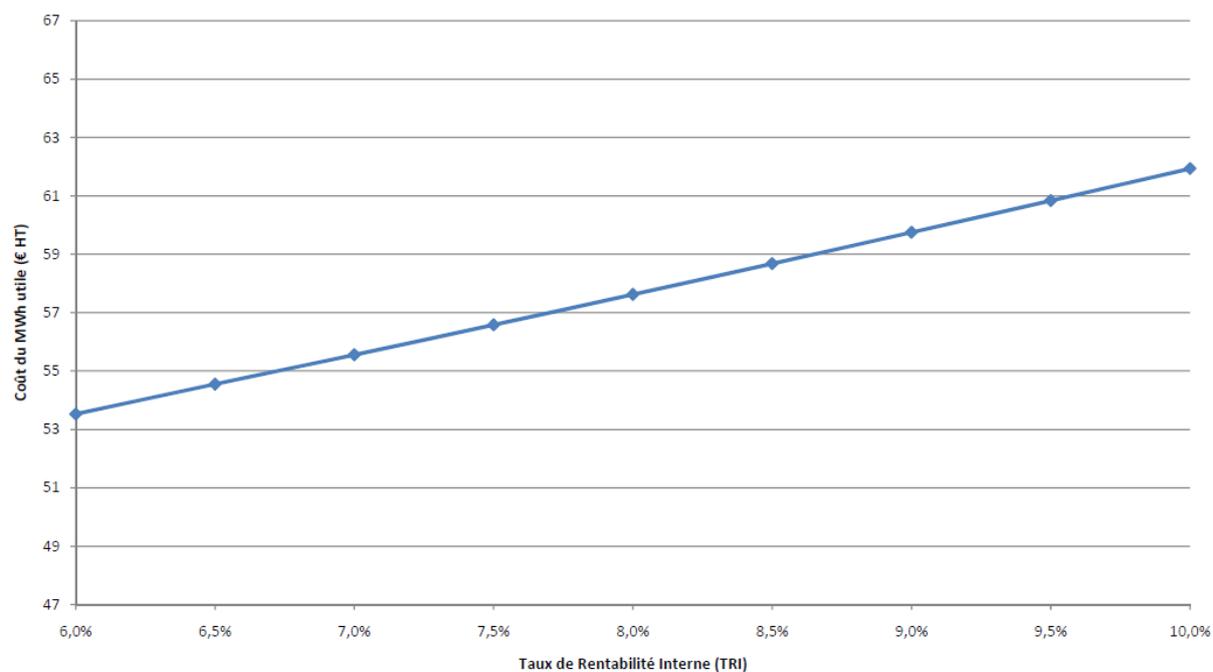


Figure 93 : Evolution du Coût du MWh utile en fonction du TRI voulu par le concessionnaire

VII. Groupement 2 (Les Lilas, Le Pré Saint-Gervais, Romainville)

- Description technique de l'opération

Le Groupement 2 a été mis en évidence par la cartographie des données des bailleurs sociaux et rassemble des communes qui, à elles-seules, n'auraient pas pu bénéficier d'une opération de géothermie au Dogger, soit par manque de surface foncière, soit par manque de besoins en surface. Ce potentiel réseau de chaleur regrouperait les communes des Lilas, du Pré Saint-Gervais et de Romainville.

- Périimètre retenu

Le périmètre d'études retenu pour ce groupement est l'intégralité des Lilas, du Pré Saint-Gervais et le sud de Romainville.

- Patrimoine Social Raccordable

La répartition du patrimoine social sur les 3 communes est donnée ci-dessous. Les 3 villes participent de manière équivalente au recensement du potentiel raccordable.

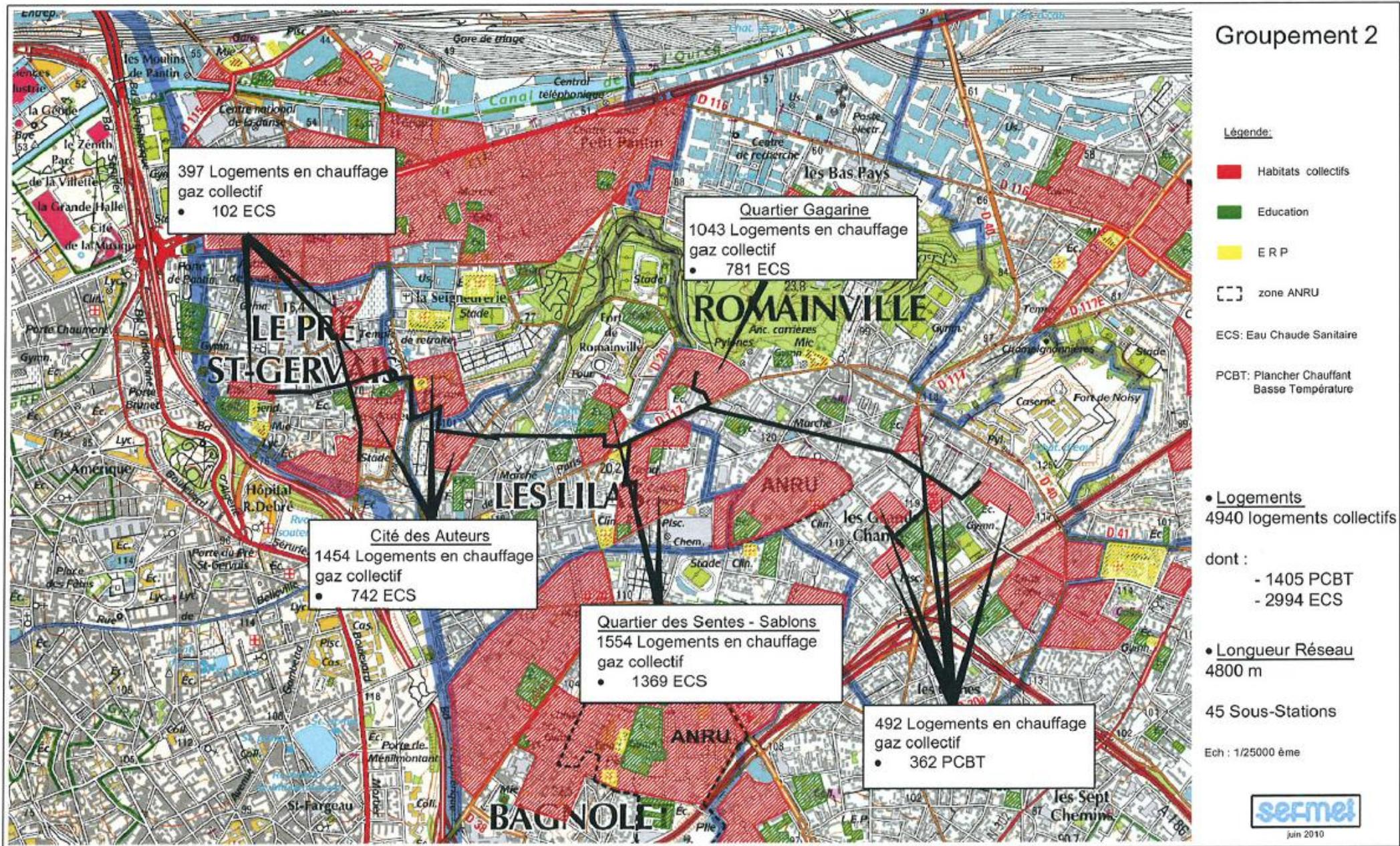
<i>Bailleur</i>	<i>Nb Logements Chauffés au Gaz Collectif</i>	<i>dont ECS Collective</i>	<i>dont panneaux de sol</i>
Les Lilas			
<i>OPD Seine-Saint-Denis</i>	1 214	1 214	<i>n.c.</i>
<i>France Habitation</i>	401	0	<i>n.c.</i>
<i>OGIF</i>	92	92	0
<i>OSICA</i>	63	63	<i>n.c.</i>
<i>ICF – La Sablière</i>	46	0	<i>n.c.</i>
Sous-total	1 816	1 631	-
Le Pré Saint-Gervais			
<i>OPD Seine-Saint-Denis</i>	1 141	134	<i>n.c.</i>
<i>France Habitation</i>	346	346	<i>n.c.</i>
<i>Toit & Joie</i>	102	102	<i>n.c.</i>
Sous-total	1 589	582	-
Romainville			
<i>OPH Romainville</i>	1 425	781	1 325
<i>OGIF</i>	80	0	80
<i>Toit & Joie</i>	30	0	<i>n.c.</i>
Sous-total	1 535	781	1 405
TOTAL	4 940	2 994	1 405 (28 %)

Figure 94 : Patrimoine social potentiellement raccordable dans le périmètre d'études du Groupement 2

- Patrimoine Communal et Départemental

Le patrimoine communal et départemental n'a été pris en compte dans le cas du Groupement 2.

- Carte



▪ Résultats Energétiques et Environnementaux

<u>Données Sous-sol</u>	
Débit Géothermal (m ³ /h)	280
Température d'exhaure	63 °C
<u>Données Surface</u>	
Nombre de logements	4 940
Nombre d'ECS	2 994
Proportion de Radiateurs	72%
Longueur de réseau à créer	4 800 m
Nombre de Sous-stations	45

Figure 95 : Données retenues pour l'étude-technico-économique du Groupement 2

<u>Performances Energétiques</u>	
Production Totale de Chaleur	61 769 MWh
Besoins des Abonnés (CAF + ECS)	59 392 MWh
Consommation de l'Eq-Log	12,02 MWh utile/an
Fourniture Géothermique	32 700 MWh
Fourniture de l'Appoint	29 069 MWh
Taux de Couverture moyen	52,9%
<u>Performances Environnementales</u>	
CO ₂ évités (comparé au gaz)	8 142 tonnes
TEP évitées (comparé au gaz)	2 812 TEP
Contenu en CO ₂	125 gCO ₂ /kWh utile

Figure 96 : Estimation des performances énergétiques et environnementales pour le réseau géothermique du Groupement 2

- Perspectives pour optimiser les résultats

Le réseau de chaleur géothermique qui pourrait être créé avec le Groupement 2 présente des opportunités d'optimisation et notamment :

- Réalisation d'un réseau de distribution de chaleur en cascade ;
- Intégration des patrimoines communaux des 3 villes et du patrimoine départemental ;
- Intégration du Réseau des Lilas, déjà existant, et alimenté en Eau Chaude (peu d'aménagements lourds à prévoir) ;
- Rapprochement avec le sud de Pantin pour d'éventuelles extensions ;
- Intégration d'une Pompe à Chaleur pour la production de l'ECS en été et ainsi augmenter le taux de couverture.

- [Analyse économique](#)

- Investissements & Aides

Estimation des Investissements Sous-sol		
Forage pour un doublet	9 000 000 €	
Centrale Géothermale (bâtiments et équipements)	3 400 000 €	
Etudes & Assurances	1 806 600 €	
Total Investissement Sous-sol	14 206 600 €	
Estimation des Investissement Surface		
Chaufferies d'appoint et Sous-stations	4 410 000 €	
Création du réseau de distribution	6 240 000 €	
Etudes	852 000 €	
Total Investissement Surface	11 502 000 €	
Total Investissements	25 708 600 €	
Estimation des Aides du Fonds Chaleur		
Estimation des aides Sous-sol	6 933 600 €	(soit 2466 €/TEP)
Estimation des aides Surface	2 880 000 €	(soit 600 €/ml)
Total Investissements avec Aides	15 895 000 €	

Figure 97 : Estimations des investissements et des aides allouées pour la création d'un réseau à base géothermique pour le Groupement 2 (Valeur Avril 2010)

- Compte d'exploitation prévisionnel

<u>Bilan Comptable Annuel Prévisionnel (Sous-sol & Surface)</u>	(Valeur Avril 2010)
P1 : Energies	1 346 374 €
P2 : Entretien / Conduite	234 098 €
P3 : Gros Entretien / Renouvellement	439 943 €
Autres Charges (y compris amortissements)	1 255 819 €
<u>Total Annuel</u>	3 276 233 €

Figure 98 : Estimation du bilan comptable annuel du concessionnaire du réseau du Groupement 2

Avec une estimation du bilan comptable à 3,2 M€, le concessionnaire du réseau du Groupement 2 devrait vendre la chaleur à un coût moyen de 60,3 € HT/MWh pour s'assurer d'un TRI à 8% sur 30 ans.

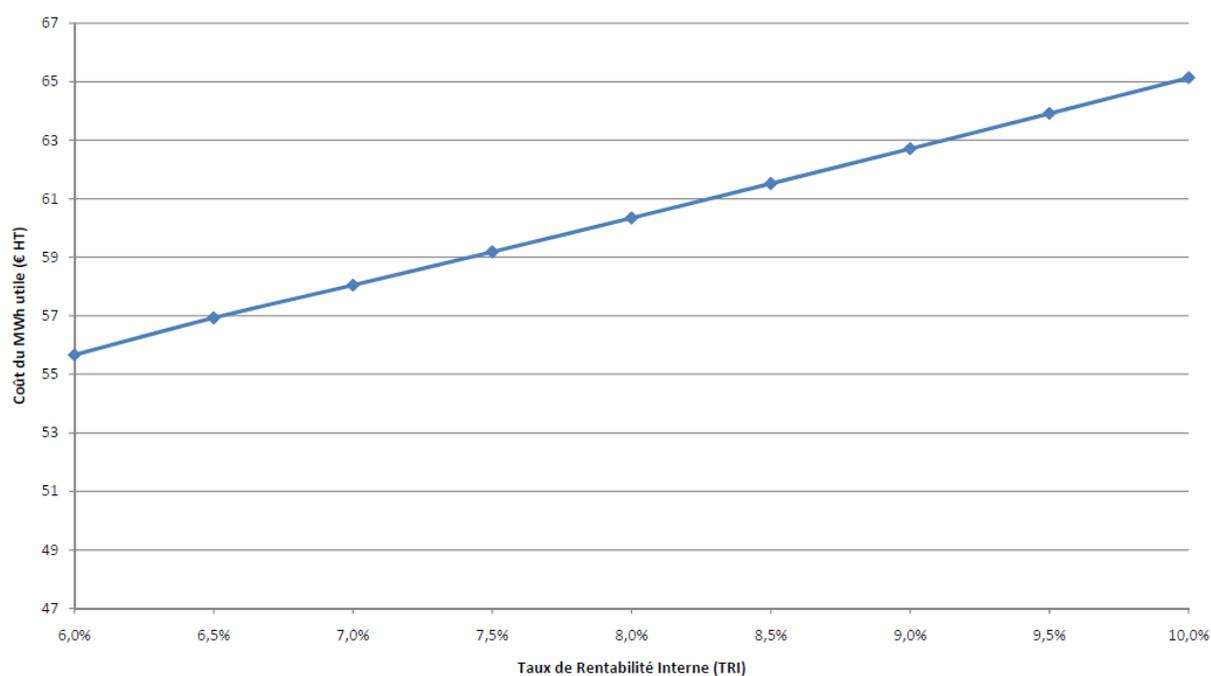


Figure 99 : Evolution du Coût du MWh utile en fonction du TRI voulu par le concessionnaire

VIII. Variantes avec utilisation des pompes à chaleur

D'une façon générale, l'ajout d'une PAC sur un réseau à base géothermale permet d'augmenter de manière significative le taux de couverture de l'installation. Cette influence sur le taux de couverture se traduit aussi par une diminution du coût du MWh utile (pour un TRI de 8%) qui fonction du nombre de logements possédant une ECS collective raccordés sur le réseau. Enfin, toujours en raison du taux de couverture élevé, le contenu en CO₂ des différents réseaux est réduit par rapport aux solutions initiales.

Dans les variantes, l'installation projetée comprend deux pompes à chaleur. La puissance chaude de la première PAC a été calculée pour réaliser, a minima, l'ECS pendant l'été en appoint de la géothermie et la deuxième PAC a été dimensionnée pour effectuer une base pendant la période hivernale. Pour ces raisons, la puissance installée diffère pour chaque solution. Le schéma d'intégration des PAC au réseau de chaleur est celui décrit en Figure 29.

(Valeur Avril 2010)	Drancy	Montreuil	Noisy le Sec	Rosny-sous-Bois	Groupement 1	Groupement 2
Puissance installée (kW)	3 860	4 160	4 720	4 760	4 480	3 200
Taux de couverture Géothermie +PAC	76,8%	76,6%	79,6%	78,4%	77,9%	77,2%
Coût utile du MWh utile (€/MWh) pour un TRI de 8%	56,7	58,5	52,2	53,1	55,9	59,2
Contenu en CO ₂ du réseau (gCO ₂ /kWh utile)	73	74	69	70	71	73

Figure 100 : Tableau avec les principaux résultats pour les réseaux avec géothermie et PAC

Sur un plan comptable, l'intégration d'une PAC crée un surinvestissement d'environ 2 M€. En considérant cet équipement comme faisant partie de l'unité de production géothermale, il bénéficierait des aides du Fonds Chaleur. Ces aides compenseraient le surinvestissement nécessaire à leur installation. Toutefois, le chiffrage exact des aides potentiellement disponibles devra être effectué en coordination avec l'ADEME.

Par ailleurs, compte-tenu des règles de dimensionnement des PAC, l'augmentation du nombre de logements raccordés au réseau de chaleur influence grandement le taux de couverture du réseau, mais joue peu sur le coût du MWh utile. C'est pourquoi, un maximum de patrimoine raccordable devra être identifié avant d'effectuer les simulations avec cette solution.

C. Synthèse des potentialités au Dogger pour la Seine-Saint-Denis

(Valeur Avril 2010)	Aubervilliers (Solution + PAC)	Drancy	Montreuil	Noisy le Sec	Rosny-sous-Bois	Groupement 1	Groupement 2
Longueur de réseau (m)	4 000 m	5 200 m	6 500 m	3 500 m	5 300 m	6 000 m	4 800 m
Nombre d'équivalent-logement	6 553	5 931	6 255	5 715	6 498	6 064	4 940
Température d'exhaure	59 °C	65 °C	64 °C	63 °C	65 °C	65 °C	63 °C
Débit géothermal (m ³ /h)	280	280	280	280	280	280	280
Besoin Total	80 658 MWh	69 524 MWh	70 521 MWh	73 624 MWh	77 303 MWh	74 254 MWh	61 768 MWh
Fourniture Géothermique	65 614 MWh	37 484 MWh	36 657 MWh	37 171 MWh	40 891 MWh	39 119 MWh	32 700 MWh
Fourniture Appoint Gaz	15 044 MWh	32 040 MWh	33 864 MWh	36 453 MWh	36 411 MWh	35 136 MWh	29 069 MWh
Taux de couverture	81,3%	53,9%	52,0%	50,5%	52,9%	52,7%	52,9%
Contenu en CO ₂ (gCO ₂ /kWh Utile)	68	122	127	131	125	126	125
Investissements							
<i>Sous-sol</i>	14 206 600 €	14 206 600 €	14 206 600 €	14 206 600 €	14 206 600 €	14 206 600 €	14 206 600 €
<i>Surface</i>	12 058 000 €	11 891 880 €	13 888 800 €	9 104 400 €	11 345 400 €	13 530 240 €	11 502 000 €
Total	26 265 400 €	26 098 480 €	28 095 400 €	23 311 000 €	25 552 000 €	27 736 840 €	25 708 600 €
<i>Aides Possibles du Fonds Chaleur</i>	10 341 600 €	10 053 600 €	10 833 600 €	9 033 600 €	10 113 600 €	10 533 600 €	9 813 600 €
Investissements Total avec Aides	15 923 800 €	16 044 880 €	17 261 800 €	14 277 400 €	15 438 400 €	17 203 240 €	15 895 000 €

Figure 101 : Synthèse générale des principaux paramètres des potentiels réseaux géothermiques du groupe 1

Au total, une enveloppe globale d'environ 180 M€ (hors subventions) permettrait de financer ces 7 opérations de géothermie profonde au Dogger sur le territoire de Seine-Saint-Denis.

D. Retombées environnementales possibles pour la Seine-Saint-Denis

En supposant maintenant que toutes solutions proposées voient le jour (sans optimisations et en fusionnant le réseau de Drancy avec celui du Groupement 1, soit 6 réseaux), à l'échelle départementale, ce serait près de 20 000 TEP et 60 000 tonnes de CO₂ qui seraient économisées annuellement. Soit près de 5% des objectifs actuels du Fonds Chaleur pour la filière géothermie profonde et une réduction de 2% des émissions de CO₂ par rapport au Bilan Carbone® établi en 2005 sur le bâti de la Seine-Saint-Denis.

En gardant les mêmes hypothèses, l'état des lieux actuel de la géothermie en Seine-Saint-Denis s'en trouverait modifié :

- Avec 11 réseaux de chaleur géothermique, la Seine-Saint-Denis se situerait juste derrière le Val-de-Marne (14 réseaux). Ce qui ferait qu'environ 123 000 équivalents-logements seraient alors raccordés à un réseau de chaleur et 54 635 seraient alimentés par un réseau géothermique (soit 45 % du total) ;

- Les réseaux géothermiques verraient le nombre moyen d'équivalents-logements raccordés passer de 3 275 à environ 5 000 ;

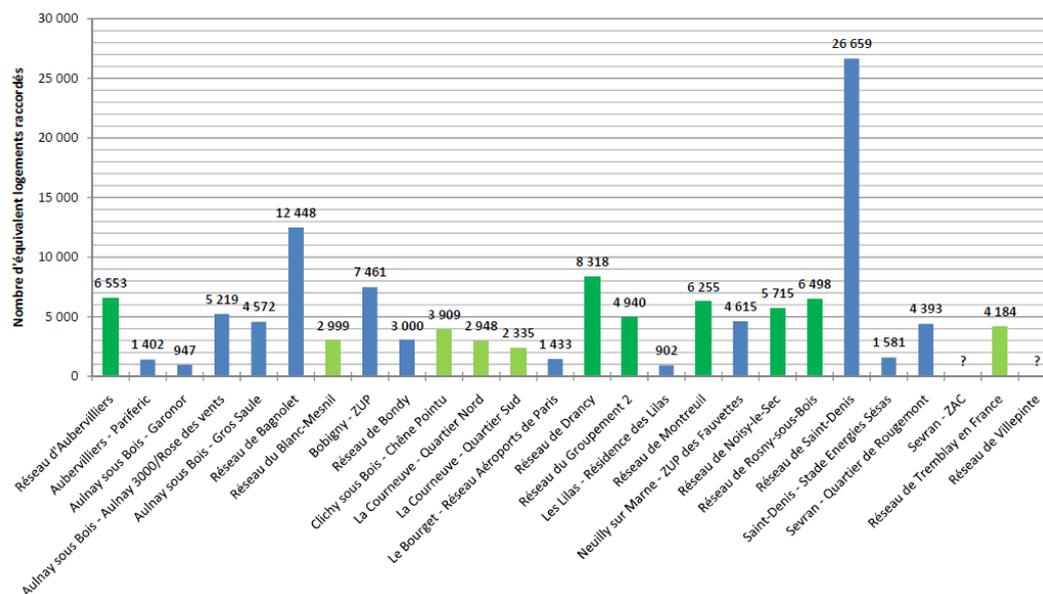


Figure 102 : Nombre d'équivalent-logements raccordés par réseau (Bleu : réseau « fossiles », Vert Clair : Réseau géothermique existant, Vert foncé : Réseaux géothermiques du Groupe 1)

- Le mix énergétique des réseaux de chaleur de Seine-Saint-Denis passerait de 7,5 % d'énergie géothermique à près de 20 %. Ce qui ferait du département l'un des plus vertueux à l'échelle nationale dans ce domaine ;

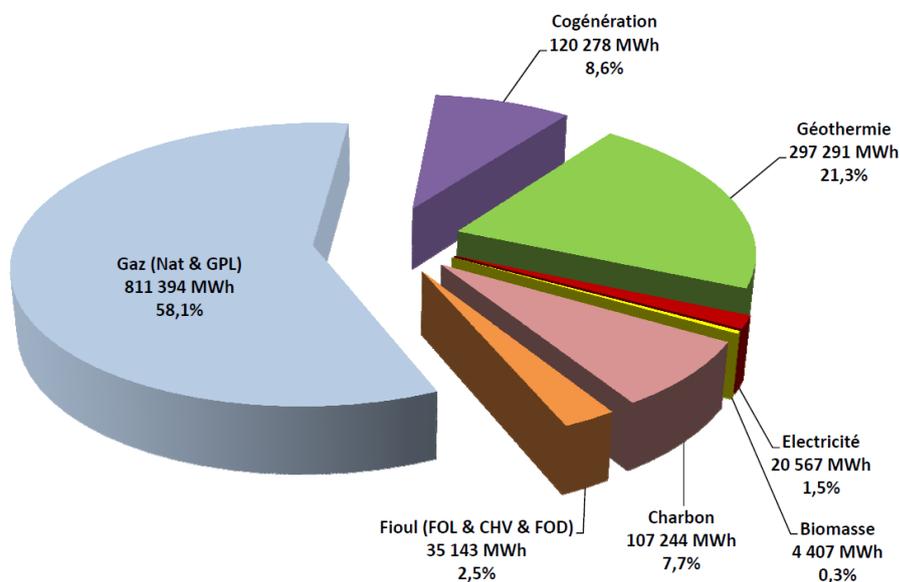


Figure 103 : Bouquet Énergétique de la Seine-Saint-Denis avec la création des 6 réseaux géothermiques du Groupe 1

- Le contenu moyen en CO₂ des réseaux départementaux passerait de 0,213 gCO₂/kWh utile à 0,191 gCO₂/kWh utile, et se situerait dans la moyenne nationale.

CONCLUSION

La géothermie profonde sur le territoire de la Seine-Saint-Denis n'est pas un nouveau vecteur énergétique. Lancée par neuf opérations dans le département au cours des années 80, elle présente maintenant une filière mature.

Bien que sur la création de ces neufs réseaux de chaleur géothermique, seuls cinq subsistent aujourd'hui, ceux-ci possèdent d'indéniables atouts dans le contexte environnemental actuel.

En effet, les réseaux de chaleur à base géothermale permettent de raccorder, en une opération, plusieurs milliers de logements en énergies renouvelables, dans un faible périmètre, avec un coût compétitif pour les usagers et peu sensible à la volatilité des énergies fossiles. Concernant les quatre puits abandonnés, les échecs s'expliquent de diverses raisons, techniques et/ou économiques. L'ensemble de cette expérience acquise permet aujourd'hui d'envisager de nouvelles opérations avec des aléas technologiques, géologiques et économiques maîtrisés.

Par ailleurs, dans le cadre du « Grenelle de l'environnement » lancé en 2008, de nombreux mécanismes de soutien aux énergies renouvelables et aux réseaux de chaleur ont vu le jour. Ces appuis seront, en principe, renforcés par la nouvelle réglementation thermique 2012. Tous ces éléments, en plus d'un état des lieux encourageant, permettent d'envisager une relance de la géothermie profonde, sur des zones ciblées, dans le département de Seine-Saint-Denis.

La ressource géothermale au Dogger est toutefois inégalement répartie sur le territoire de Seine-Saint-Denis. Qualifiée de favorable à l'est du département, elle se trouve être modérée à l'ouest. La méthode de criblage a mis en évidence des zones d'adéquation entre la ressource et sa valorisation en surface ce qui fait que de nouvelles opérations pourraient voir le jour dans le centre-sud de la Seine-Saint-Denis.

5 communes (Aubervilliers, Drancy, Montreuil, Noisy-le-Sec et Rosny-sous-Bois) et 2 groupements de villes seraient concernés par ces opportunités de création de nouveaux doublets avec un réseau de chaleur associé. Des possibilités existent aussi sur plusieurs communes pour rendre compatible à la géothermie, en partie ou totalement, le réseau de chaleur existant. Enfin, dans les années à venir, tous les réseaux géothermiques en fonctionnement dans le département devront prévoir la rénovation de leurs puits.

Pour certaines communes, l'accès au Dogger n'est pas réalisable en raison d'un manque de valorisation en surface. Celles-ci pourront, éventuellement et sous réserves d'études complémentaires, se tourner vers des aquifères plus superficiels tels que le Lusitanien/Néocomien ou l'Albien avec l'installation de pompes à chaleur.

Pour d'autres, la ressource au Dogger est jugée « Modérée », principalement à cause de sa température, et pourra toutefois être valorisée, après études complémentaires, par un recours à la technologie des pompes à chaleur.

De même, le Dogger faisant l'objet d'une possible saturation locale au niveau d'Aubervilliers (2 doublets et un futur triplet), les possibilités de valorisation recensées laissent entrevoir une éventuelle opportunité d'exploiter le Trias. Toutes ces opérations, sur des aquifères peu connus, seraient aidées de la même manière par le Fonds Chaleur de l'ADEME qu'une opération au Dogger.

Cette étude permet de mettre en évidence un réel potentiel de la géothermie profonde en Seine-Saint-Denis. En supposant que toutes les collectivités et groupements du Groupe 1 réalisent une géothermie au Dogger l'investissement global d'environ 180 M€ (hors subventions) :

- Avec 11 réseaux de chaleur géothermique, la Seine-Saint-Denis se situerait derrière le Val-de-Marne (14 réseaux).
- 20 000 TEP et 60 000 tonnes de CO₂ économisés annuellement ;
- Environ 55 000 logements raccordés à un réseau de chaleur utilisant l'énergie géothermale comme énergie principale ;
- Un mix énergétique des réseaux de chaleur de Seine-Saint-Denis qui évoluerait de 7,5% à près de 20 % d'énergie géothermique.
- Le contenu moyen en CO₂ des réseaux départementaux passerait de 0,213 gCO₂/kWh utile à 0,191 gCO₂/kWh utile, et se situerait dans la moyenne nationale.

GLOSSAIRE

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

AFME : Agence Française de Maîtrise de l'Energie, transformée en ADEME.

AGÉMO : Association des Maîtres d'Ouvrage en Géothermie.

Aquifère : Couche poreuse et perméable contenant une nappe d'eau.

Artésien : Un puits artésien est un puits où l'eau jaillit naturellement.

CDC : Caisse des Dépôts et Consignations.

Cogénération : Production simultanée d'électricité et de chaleur à partir d'un même combustible par un système de moteurs gaz ou par turbine à gaz.

Complétion : Ensemble des équipements (tubages et cimentations) composant un puits.

COP : Coefficient de Performance. Permet de traduire les performances d'une pompe à chaleur. Se définit comme le rapport de l'énergie calorifique produite par la PAC sur l'énergie électrique consommée.

CPCU : Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain.

Doublet : Opération de géothermie constituée d'un puits producteur et d'un puits injecteur.

DRIEE : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie d'Île-de-France (DRIEE-IF) est issue du regroupement de quatre entités : la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN), le Service Technique Interdépartemental de l'Inspection des Installations Classées (STIIC) de la Préfecture de police, le service eau/environnement du Service Navigation de la Seine (SNS), et la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE, hors activités de développement industriel et métrologie).

DSP (Délégation de Service Public) : Mode de gestion possible des réseaux de chaleur géothermique. Plusieurs types de DSP existent, parmi eux : l'affermage (réseau géré par un fermier) et la concession (réseau géré par un concessionnaire).

ECS : Eau Chaude Sanitaire.

Equivalent-Logement : Unité permettant de convertir les besoins énergétiques des bâtiments tels que des bureaux ou des équipements publics en besoins de logements équivalents.

Géothermal : Adjectif qualifiant la partie sous-sol des installations de géothermie

Géothermique : Adjectif qualifiant la partie surface des installations de géothermie

PAC : Abréviation de « Pompe A Chaleur », machine thermodynamique permettant le transfert de chaleur d'un milieu plus froid vers un milieu plus chaud.

Rechemisage : Installation d'un nouveau tubage de plus petit diamètre à l'intérieur d'un ancien tubage, en général en cas de dégradation de celui-ci.

Tableau d'équivalence entre pouces et centimètres :

Diamètre en pouces	Diamètre en centimètre
13 ^{n3/8}	32 cm
10 ^{n3/4}	25 cm
9 ^{n5/8}	22 cm
7"	16 cm

Figure 104 : Tableau de conversion pouces <-> centimètres

Taux de couverture d'une géothermie : Rapport entre l'énergie géothermale obtenue en sortie de puits sur l'énergie totale produite. Un taux de couverture de 100% signifie que la géothermie assure la totalité de la fourniture de chaleur.

Température d'équilibre ou de transition : Température extérieure à partir de laquelle la géothermie couvre 100 % des besoins des abonnés.

Température d'exhaure: Température d'eau disponible en sortie des têtes de puits.

TEP (Tonne Equivalent Pétrole) : Energie produite par la combustion d'une tonne de pétrole moyen. Equivaut à 11,6 MWh.

Traitement inhibiteur : Injection, via un tube descendu en fond de puits producteur, d'un produit chimique visant à réduire la corrosion des tubages sous l'action de l'eau géothermale. Le produit inhibiteur de corrosion se mélange à l'eau géothermale et circule du fond du puits producteur jusqu'au fond du puits injecteur.

Transmissivité : La transmissivité est une mesure de la capacité de l'aquifère à conduire l'eau. Plus la transmissivité est élevée plus la capacité à conduire l'eau est grande.

TRI (Taux de Rentabilité Interne) : Le taux de rentabilité interne (TRI) est un taux d'actualisation qui annule la valeur actuelle nette d'une chronique de flux financiers (en général relatifs à un projet avec un investissement initial suivi de flux de trésorerie positifs). Le TRI d'un projet doit être supérieur au taux de rentabilité exigé par une entreprise pour que celle-ci se lance dans un projet.

Triplet : Opération de géothermie constituée d'un puits producteur et de deux puits injecteurs.

Workover : travaux de réhabilitation réalisés sur un puits (nettoyage, rechemisage, ...).