



Schéma directeur des réseaux de chaleur du département du Val-de-Marne

Mémoire final – Janvier 2014

Avec le soutien financier de :



Une étude réalisée par :



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 et autres polluants, les réseaux de chaleur alimentés par des énergies renouvelables et de récupération présentent d'indéniables intérêts en Ile-de-France et plus particulièrement dans le Val-de-Marne.

La géothermie, parmi ces énergies renouvelables, est présente sur tout le territoire francilien avec des caractéristiques géologiques variables et avec notamment d'excellentes potentialités sur le Val-de-Marne. 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, le SIPPAREC en collaboration avec les services du Conseil Général du Val-de-Marne, a lancé la réalisation d'un « Schéma Directeur » des réseaux de chaleur sur le département du Val-de-Marne. L'objectif est de réaliser un état des lieux des réseaux de chaleur et de dresser les perspectives de recours à ce vecteur d'énergies renouvelables, et ainsi élaborer une prospective.

Dans un premier temps, l'état des lieux présente des éléments techniques de principe sur les réseaux de chaleur et notamment les sources énergétiques renouvelables pouvant être associées à ce vecteur. Une attention particulière est ainsi portée à la géothermie profonde, avec la présentation des quatre aquifères profonds identifiés dans le Bassin de Paris : de la base du bassin, vers la surface, les Grès du Trias, les Calcaires du Dogger, les Calcaires du Lusitanien et les sables de l'Albien et du Néocomien.

Sur le département, il est identifié, dans le cadre de l'état des lieux, 17 réseaux de chaleur, ceux-ci étant largement concentrés en partie Ouest du Val-de-Marne (cf. Figure 1). Sur ces 17 réseaux, 16 utilisent au-moins une énergie renouvelable et/ou de récupération (EnR&R) dont 13 utilisent actuellement l'énergie géothermale par le biais de 16 opérations au réservoir du Dogger.

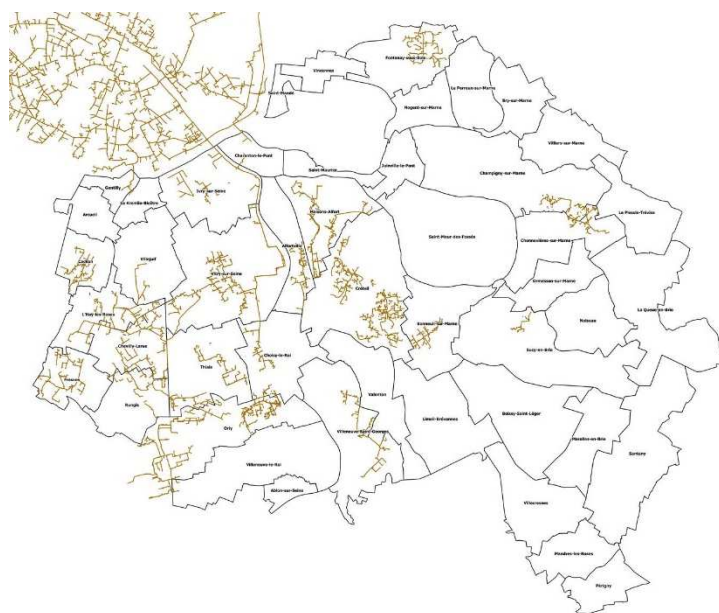


Figure 1 : Implantation de tous les réseaux de chaleur du Val-de-Marne en 2013

Le rapport présente également un état de la production de chaleur des réseaux du Val-de-Marne pour l'année 2011 (cf. Figure 2). Cet état indique que plus de 50% de la chaleur produite pour les réseaux de chaleur du Val-de-Marne l'a été avec des énergies renouvelables et de récupération. Parmi ces énergies renouvelables et de récupération, la Géothermie tient une place importante représentant 32% de la production totale et est suivie par la récupération de chaleur sur les usines d'incinération (environ 19% de la production totale).

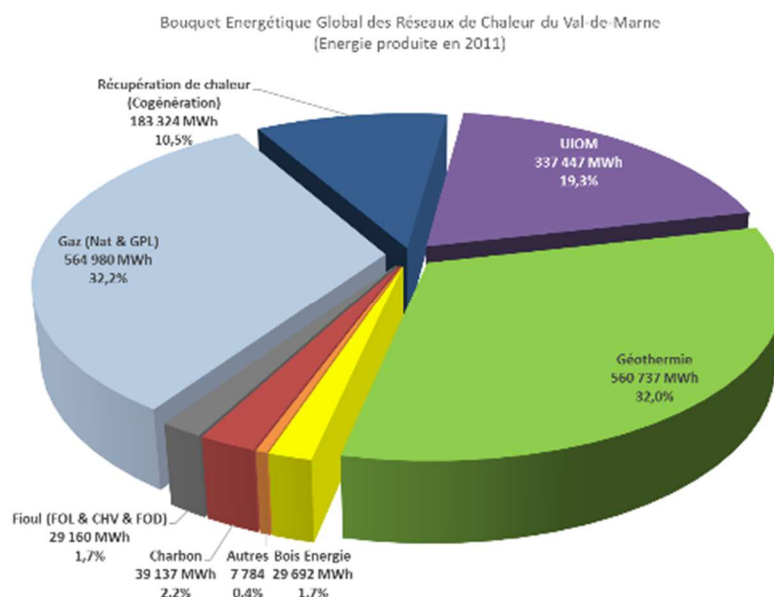


Figure 2 : Répartition des sources énergétiques utilisées pour la production de chaleur dans le Val-de-Marne en 2011

Cette production permet ensuite d'alimenter, à l'échelle départementale, environ 165 000 équivalents-logements en énergies renouvelables et de récupération. Au regard du bilan environnemental, cette production est également vertueuse vis-à-vis des performances nationales et régionales (cf. Figure 3).

	France (Enquête de branche SNCU 2010)	Ile-de-France (Enquête de branche SNCU 2010)	Val-de-Marne (Fossiles + Géothermie) en 2011
Contenu en CO ₂ (kg CO ₂ /kWh)	0,189	0,204	0,127

Figure 3 : Tableau comparatif des performances environnementales des réseaux de chaleur du Val-de-Marne à ceux des réseaux français et franciliens

Sur les aspects financiers, les réseaux de chaleur du Val-de-Marne sont, pour un 1/3 compétitifs par rapport à des solutions traditionnelles, pour un second 1/3 concurrencés par ces mêmes solutions et pour un dernier 1/3 peu attractifs. Ces derniers concentrent généralement les réseaux de chaleur où les énergies renouvelables ne sont pas majoritaires dans le bouquet énergétique.

Enfin, d'un point de vue juridique, le montage historique retenu pour le portage des opérations est la Société d'Economie Mixte qui confie ensuite l'exploitation de son réseau via un affermage ou une concession. Aujourd'hui, le recours à la commune ou à un syndicat intercommunal semble être privilégié à la place des SEM mais des alternatives en gestion directe voient le jour (Fontenay-sous-Bois, Champigny-sur-Marne). L'exploitation est généralement confiée à un opérateur énergétique spécialisé par le biais de contrat de concession.

Les réseaux de chaleur renouvelables du Val-de-Marne créés au cours des années 80 bénéficient aujourd'hui d'indéniables avantages par rapport à des réseaux de chaleur utilisant des énergies fossiles. Pour ces différentes raisons, des projets sont actuellement en cours de réalisation, traduisant le dynamisme de recours aux énergies renouvelables :

- Arcueil-Gentilly : réseau de géothermie
- Limeil-Brévannes : réseau de Bois-Energie
- Ivry-sur-Seine : réseau de géothermie sur la ZAC Confluence.

Ce dynamisme de développement est en grandement parti dû au contexte rendu favorable par les autorités publiques.

Il peut notamment être cité les mesures prises dans le cadre du Grenelle de l'Environnement pour la relance du développement des réseaux de chaleur (et notamment géothermiques) par la mise en place de dispositifs techniques et économiques favorables : Fonds Chaleur de l'ADEME, réduction des consommations des bâtiments existants par la rénovation prioritaire du parc social locatif, 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 et possibilité de classement des réseaux possédant plus de 50 % d'EnR&R. La nouvelle réglementation thermique dite « RT2012 » permet également de valoriser les réseaux de chaleur vertueux par l'octroi de modulations favorables pour tous les nouveaux bâtiments construits.

Ces mesures trouvent, sur le territoire du Val-de-Marne, une application concrète dans la mutation territoriale actuellement engagée avec des projets d'envergure comme : l'Opération d'intérêt National d'Orly-Rungis/Seine-Amont, la reconversion de la partie Confluence à Ivry-sur-Seine, l'aménagement urbanistique de l'ancienne voie de desserte orientale et le développement du Grand Paris Express. L'ensemble de ces projets est coordonné par l'établissement de Contrats de Développement Territoriaux (CDT) sur des territoires déterminés comme stratégiques.

Toutes ces avancées réglementaires et le développement urbanistique prévisible du Val-de-Marne 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 du Val-de-Marne 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 du Val-de-Marne.

Après avoir établi les potentialités de chacun des aquifères présentés précédemment, l'adéquation des besoins en surface a été réalisée à partir des ordres de grandeur donnés par le graphique ci-dessous (cf. Figure 4) et pondérés des caractéristiques propres aux sites d'études.

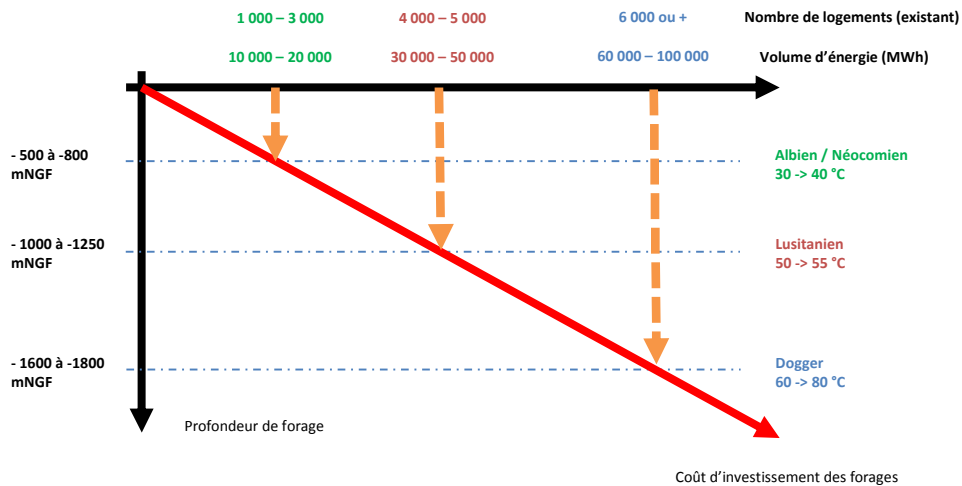


Figure 4 : Ordres de grandeurs pour cibler l'aquifère cible en fonction des besoins en surface

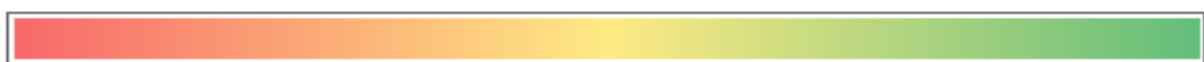
La méthode de criblage a abouti à un classement en 4 groupes :

- 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 dans la suite du rapport.

	Dogger	Lusitanien	Albien/Néocomien	Commentaires
Champigny-sur-Marne	X			Environ 60 000 MWh identifiés
Le Kremlin-Bicêtre			X	Environ 60 000 MWh identifiés

	Dogger	Lusitanien	Albien/Néocomien	Commentaires
Bry-sur-Marne/Villiers-sur-Marne	X			Environ 55 000 MWh identifiés
CC de Charenton et Saint-Maurice			X	Environ 38 000 MWh identifiés

Echelle :



Potentiel Modéré



Potentiel Favorable

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

(Valeur Août 2013)	Kremlin-Bicêtre	Champigny-sur-Marne	Charenton-le-Pont / Saint-Maurice	Bry-sur-Marne / Villiers-sur-Marne
Aquifère	Albien	Dogger	Albien	Dogger
Longueur de réseau (m)	4 500	13 500	4 500	9 000
Nombre d'équivalent-logement	5 330	5 180	3 250	4 780
Température d'exhaure	32	70	37	64
Débit géothermal (m ³ /h)	175	300	200	300
Production Totale (MWh)	62 364	60 633	37 983	55 870
Fourniture Géothermique ou PAC pour l'Albien (MWh)	43 250	44 808	31 100	35 781
Fourniture Appoint Gaz (MWh)	19 114	15 825	6 882	20 089
Taux de couverture	69,4%	73,9%	81,9%	64,0%
Contenu en CO ₂ (gCO ₂ /kWh Utile)	0,106	0,062	0,071	0,086
Investissements (€HT)				
<i>Forages et centrale géothermale</i>	9 575 000	14 750 000	8 540 000	14 750 000
<i>Chaufferies d'appoint-secours</i>	6 889 000	3 290 000	5 360 000	3 120 000
Réseau de distribution	6 800 000	16 650 000	5 450 000	10 700 000
Maitrise d'œuvre	1 701 120	2 551 200	1 400 800	2 061 600
Total	24 965 120	37 241 200	20 750 800	30 631 600
<i>Aides Possibles du Fonds Chaleur</i>	4 216 388	8 172 788	4 093 180	6 676 591
Investissements Total avec Aides	20 748 732	29 068 412	16 657 620	23 955 009

Figure 5 : Synthèse générale des principaux paramètres des potentiels réseaux géothermiques 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, départemental et régional potentiellement raccordable et une cartographie de la ville avec un tracé possible de réseau.

- Groupe 2 : « Villes ou Groupement de Villes où l'accès à la géothermie est envisageable dans le cadre d'études complémentaires ».

	Boissy-Saint-Léger	Bry-sur-Marne	Charenton-le-Pont	Chennevières-sur-Marne	Fontenay-sous-Bois	Joinville-le-Pont	Le Perreux-sur-Marne	Limeil-Brévannes	Nogent-sur-Marne	Saint-Mandé	Saint-Maur-des-Fossés	Saint-Maurice	Valenton	Villeneuve-le-Roi	Villiers-sur-Marne	Vincennes
<i>Géothermie en association avec une ou des communes</i>	X	X	X					X				X	X	X	X	
<i>Géothermie au Dogger sous conditions</i>					X						X					X

<i>Géothermie sur un aquifère plus superficiel</i>		X	X	X	X	X	X		X	X			X		X	
--	--	---	---	---	---	---	---	--	---	---	--	--	---	--	---	--

Figure 6 : Tableau synthétique des opportunités du Groupe 2

Pour les communes du Groupes 2, soit l'accès au Dogger n'est pas réalisable, seules, en raison d'un manque de valorisation en surface, soit les besoins en surface sembleraient suffisant mais leur grande dispersion rendrait incertaine, en première approche, la faisabilité d'une opération.

Celles-ci pourront, éventuellement et sous réserves d'études complémentaires :

- S'associer avec des communes limitrophes pour créer une opération de géothermie profonde ou se raccorder à un réseau géothermique déjà existant ;
 - Réaliser une opération de géothermie au Dogger après confirmation du potentiel ;
 - Se tourner, seules ou en association, vers des aquifères plus superficiels tels que le Lusitanien/Néocomien ou l'Albien avec l'installation de pompes à chaleur.
- 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 du Groupe 3, l'accès à la géothermie profonde est soit réalisé, soit en cours de réalisation. Toutefois, dans la grande majorité, ces communes peuvent encore développer leurs réseaux de chaleur existants afin d'augmenter la valorisation géothermale.

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

Pour ces communes, les besoins en surface jugés insuffisants, pour une géothermie profonde, dans le cadre de cette pré-étude. Toutefois, le recours, ponctuel, à une géothermie de surface peut être envisagé pour certains ensembles.

En synthèse, la création des 4 opérations du Groupe 1 permettraient de raccorder environ 18 500 équivalent-logements (donnée SCRAE) supplémentaires sur le département du Val-de-Marne, soit une augmentation de 11,5 %. Cela permettrait de valoriser environ 80 500 MWh supplémentaire au Dogger et 74 000 MWh à l'Albien par la création de 2 puits. Au niveau économique, un investissement total d'environ 113 millions d'euros HT pour les 4 projets serait nécessaire pour ces réseaux. Les subventions, dans le contexte, seraient de 23,1 millions, soit 20,3 % de l'investissement total.

L'étude se termine par l'établissement d'un schéma directeur et d'un plan d'action afin de donner des éléments-clefs pour :

- approfondir la connaissance du réservoir du Dogger ;

- développer la filière géothermique avec la mise en œuvre de techniques innovantes (architecture de puits, accès aux ressources, stockage de chaleur...) et la pérennisation de la ressource géothermale ;
- favoriser le développement des réseaux de chaleur et maximiser la valorisation d'EnR&R.

Parmi les axes permettant de développer les réseaux de chaleur et de maximiser la valorisation d'EnR&R, les suivants sont développés dans la partie Plan d'action :

- Introduire une ENR&R de pointe dans le bouquet énergétique des réseaux
- Imposer dans les nouvelles constructions des régimes de basse température
- Développer la filière Bois
- Encourager le développement de réseaux de froid urbain
- Création de zones de développement prioritaire des réseaux de chaleur
- Imposer la création d'un réseau de chaleur avec une ZAC
- Exploiter le gisement du chauffage individuel
- Généraliser le principe de lutte contre la précarité énergétique pour les réseaux ENR&R
- Impact de la Contribution Climat Energie (CCE) sur la compétitivité des réseaux de chaleur du Val-de-Marne

Enfin, il est réalisé une prospective en tenant compte :

- De la création de 10 nouveaux réseaux de chaleur ;
- Du développement important et prévu de certains réseaux existants ;
- De l'intégration de Biogaz dans les bouquets énergétiques des réseaux ;
- Du maintien des volumes d'énergies fournis par les réseaux avec leur développement afin de compenser les opérations de réhabilitation des bâtiments existants.

Cette prospective montre qu'il serait possible, à horizon 2020, pour le département du Val-de-Marne de respecter les engagements du Schéma Régional Climat Air Energie de la région Ile-de-France par :

- Le quasi-doublement de la quantité d'énergie géothermale valorisée ;
- L'augmentation d'environ 20% des quantités d'énergies récupérées auprès des Usines d'incinération des Ordures Ménagères ;
- Le raccordement d'environ 200 000 équivalent-logements supplémentaires.

SOMMAIRE

SYNTHESE	2
SOMMAIRE	10
INTRODUCTION	18
ETAT DES LIEUX	19
1. PRINCIPES GENERAUX	19
A. Fonctionnement d'un réseau de chaleur urbain	19
1. Production de chaleur.....	19
2. Le réseau de distribution.....	20
3. Fonctionnement des sous-stations.....	20
a) <i>Intégration des systèmes d'appoint-secours</i>	21
▪ Les Pompes A Chaleur (PAC).....	21
▪ Les chaudières.....	23
B. Géothermie profonde	26
1. Cartographie de la ressource.....	26
a) <i>Grès du Trias</i>	28
b) <i>Calcaires du Dogger</i>	32
c) <i>Calcaires du Lusitanien</i>	36
d) <i>Sables de l'Albien et du Néocomien</i>	39
2. Historique.....	44
3. Ressource - réglementation.....	45
4. L'exploitation de l'eau géothermale du Dogger.....	49
5. Architecture des ouvrages au Dogger.....	49
a) <i>Doublet conventionnel</i>	50
b) <i>Doublet anticorrosion</i>	51
c) <i>Doublets subhorizontaux</i>	55
d) <i>Traitement inhibiteur de corrosion/dépôts</i>	56
e) <i>Diagraphie de contrôle</i>	56
6. Les facteurs limitant la durée de vie d'une opération de géothermie.....	56
C. Autres sources énergétiques envisageables	58
1. Bois-énergie.....	58
a) <i>Principe de fonctionnement d'une chaufferie réseau bois</i>	58
b) <i>Les combustibles utilisés pour le chauffage au bois</i>	59

c)	<i>Développement de la filière bois</i>	59
▪	Approvisionnement du bois	59
▪	Revalorisation des cendres	60
d)	<i>Avantages des chaufferies bois</i>	60
2.	Usines d’Incinération des Ordures Ménagères (UIOM)	60
a)	<i>Principe de fonctionnement d’une UIOM</i>	60
b)	<i>Matériaux utilisés pour l’incinération</i>	61
c)	<i>Avantages des UIOM</i>	61
d)	<i>Perspectives pour la filière UIOM</i>	62
3.	Méthanisation.....	62
a)	<i>Principe de fonctionnement d’une usine de méthanisation</i>	62
b)	<i>Avantages de la méthanisation</i>	63
c)	<i>Perspectives de développement des usines de méthanisation</i>	64
▪	Chaleur	64
▪	Electricité.....	64
4.	Solaire Thermique.....	64
a)	<i>Présentation des réseaux de chaleur solaires</i>	64
b)	<i>Principe de fonctionnement des réseaux de chaleur solaires</i>	64
c)	<i>Avantages des réseaux de chaleur solaire</i>	65
5.	Récupération de chaleur	67
a)	<i>Eaux usées</i>	67
b)	<i>Data Center</i>	68
D.	Convertibilité d’un réseau de chaleur à des énergies renouvelables et/ou de récupération	70
1.	Les réseaux alimentés en vapeur	70
2.	Les réseaux de chaleur alimentée en eau surchauffée.....	70
3.	Les réseaux de chaleur « eau chaude » ou « basse température »	71
a)	<i>Cas des réseaux sans cogénération</i>	71
b)	<i>Cas des réseaux avec cogénération</i>	71
2.	BILAN DES RESEAUX DE CHALEUR DU VAL-DE-MARNE	72
A.	Emplacement des réseaux de chaleur dans le Val-de-Marne	72
B.	Bilan technique	74
1.	Emprise sous-sol des réseaux géothermiques	74
2.	Bilan Technique des forages	76
3.	Situation réglementaire des opérations	82
4.	Evolution chimique du Dogger.....	82
5.	Conclusion de l’état des lieux sous-sol	84
6.	Bilan Energétique	85

a)	<i>Production de chaleur</i>	85
b)	<i>Bouquet Energétique</i>	86
▪	Réseaux fossiles.....	87
▪	Réseaux géothermiques.....	87
▪	Réseaux UIOM.....	88
c)	<i>Taille des réseaux de chaleur</i>	89
7.	Bilan Environnemental.....	91
a)	<i>Quotas d'émissions de CO₂</i>	91
b)	<i>Contenu en CO₂ des réseaux de chaleur du département</i>	94
C.	Bilan Economique	95
1.	Notions de Tarification des réseaux de chaleur.....	95
a)	<i>Terme R1</i>	95
b)	<i>Terme R2</i>	95
c)	<i>Surtaxe et/ou redevance spéciale</i>	95
2.	Factures énergétiques pour un logement « type ».....	95
3.	Application aux réseaux du Val-de-Marne.....	98
D.	Bilan Juridique	104
1.	Définition juridique d'un réseau de chaleur.....	104
2.	Réseau de chaleur privé.....	104
3.	Distribution publique de chaleur.....	105
a)	<i>La gestion directe</i>	105
b)	<i>L'affermage</i>	107
c)	<i>La concession</i>	109
d)	<i>Comparatif et synthèse</i>	111
4.	Structures porteuses de l'autorité organisatrice du service public de chaleur.....	112
a)	<i>Société Publique Locale (SPL)</i>	112
b)	<i>Société d'Economie Mixte (SEM)</i>	113
c)	<i>Syndicat Intercommunal</i>	113
5.	Synthèse.....	113
E.	Conclusion de l'état des lieux	114
	PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DES RESEAUX DE CHALEUR	115
1.	CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL, REGLEMENTAIRE ET ECONOMIQUE	115
A.	Grenelle de l'environnement	115
1.	Grenelle 1.....	115
▪	Création d'un fonds de chaleur renouvelable.....	115
▪	Réduction des consommations des bâtiments existants.....	115
▪	Reconnaissance de la spécificité des réseaux de chaleur alimentés en énergies renouvelables.....	115

▪	Obligation de réaliser une étude de faisabilité d'un réseau de chaleur pour tout nouvel aménagement	116
2.	Grenelle 2.....	116
▪	Possibilité de prolonger les DSP pour des investissements dans les énergies renouvelables	116
▪	Procédure de classement des réseaux de chaleur	117
▪	Ajout du Diagnostic de Performance Energétique (DPE) aux contrats de location	117
▪	Obligation de travaux et établissement d'un bail vert dans les bâtiments tertiaires	117
▪	Définition de la précarité énergétique et élargissement du dispositif des CEE	117
3.	Réalisations	118
B.	Réglementation Thermique de 2012	118
1.	Présentation.....	118
2.	Les 3 indicateurs de performance.....	119
a)	<i>L'indice Bbio</i>	119
b)	<i>L'indice Tic</i>	120
c)	<i>L'indice Cep</i>	120
C.	Documents d'aménagement prospectifs du territoire	121
1.	Schéma Régional Climat, Air et Energie (SRCAE) de l'Île-de-France	121
a)	<i>Secteur du Bâtiment</i>	123
b)	<i>Secteur des Energies Renouvelables et de Récupération</i>	124
2.	Plan-Climat du département du Val-de-Marne	126
3.	Les contrats de développement territoriaux (CDT)	127
4.	Opération d'Intérêt National (OIN).....	132
5.	Reconversion de l'ancienne voie de desserte orientale (VDO).....	132
D.	Aspect financier de la réglementation	136
▪	Instauration d'une T.V.A. à 5,5 % sur les consommations	136
2.	POTENTIALITES DU VAL-DE-MARNE	137
A.	Développement de la méthode de criblage	137
1.	Méthode de criblage pour les nouvelles opérations de géothermie profondes	137
a)	<i>Evaluation du potentiel géothermique au Dogger</i>	137
b)	<i>Analyse du potentiel des autres aquifères profonds</i>	138
2.	Critères retenus pour l'évaluation du potentiel en surface.....	143
a)	<i>Conditions pour une opération au Dogger</i>	143
▪	Nombre de logements potentiellement raccordables	143
▪	Nombre de logements utilisant un système d'ECS collective et des émetteurs « Basse Température »	144
▪	Présence et caractéristiques des réseaux existants	144
▪	Faisabilité Administrative	144
▪	Réserve foncière pour l'emplacement d'un forage.....	144
▪	Aménagement du territoire	144
b)	<i>Conditions pour une opération au Lusitanien ou à l'Albien/Néocomien</i>	145

c)	<i>Données patrimoniales des Bailleurs</i>	145
d)	<i>Origine des données cartographiques</i>	145
B.	Identification des groupes grâce à la méthode de criblage	148
1.	Groupe 1.....	149
2.	Groupe 2.....	150
a)	<i>Boissy-Saint-Léger</i>	152
b)	<i>Bry-sur-Marne</i>	153
c)	<i>Charenton-le-Pont</i>	155
d)	<i>Chennevières-sur-Marne</i>	156
e)	<i>Fontenay-sous-Bois</i>	157
f)	<i>Joinville-le-Pont</i>	158
g)	<i>Limeil-Brévannes</i>	160
h)	<i>Nogent-sur-Marne</i>	162
i)	<i>Le Perreux-sur-Marne</i>	163
j)	<i>Saint-Mandé</i>	164
k)	<i>Saint-Maur-des-Fossés</i>	166
l)	<i>Saint-Maurice</i>	167
m)	<i>Valenton</i>	168
n)	<i>Villeneuve-le-Roi</i>	169
o)	<i>Villiers-sur-Marne</i>	170
p)	<i>Vincennes</i>	171
3.	Groupe 3.....	172
a)	<i>Alfortville</i>	173
b)	<i>Arcueil – Gentilly</i>	173
c)	<i>Bonneuil-sur-Marne</i>	173
d)	<i>Cachan</i>	173
e)	<i>Chevilly-Larue – L’Haÿ-les-Roses – Villejuif (SEMHACH)</i>	174
f)	<i>Choisy-le-Roi</i>	174
g)	<i>Créteil</i>	174
h)	<i>Fresnes</i>	175
i)	<i>Ivry-sur-Seine</i>	175
j)	<i>Maisons-Alfort</i>	175
k)	<i>Orly</i>	175
▪	<i>Réseau d’Orly-Choisy</i>	176
▪	<i>Réseau d’Orly ADP</i>	176
l)	<i>Sucy-en-Brie</i>	176
m)	<i>Thiais</i>	176

n) Villeneuve-Saint-Georges.....	176
o) Vitry-sur-Seine	177
4. Groupe 4	178
a) Ablon-sur-Seine.....	178
b) Le Plessis-Tréville.....	178
c) La Queue-en-Brie	179
d) Mandres-les-Roses.....	179
e) Marolles-en-Brie	179
f) Noisieu	179
g) Ormesson-sur-Marne.....	179
h) Périgny-sur-Yerres.....	180
i) Rungis	180
j) Santeny.....	180
k) Villecresnes	180
3. ANALYSE DES POTENTIALITES DE LA GEOTHERMIE PROFONDE.....	181
A. Aspects économiques des réseaux de chaleur géothermiques.....	181
1. Investissements	181
2. Aides financières au montage de l'opération	181
3. Financement de l'opération.....	182
4. Coût d'exploitation	182
▪ Comparaison avec le réseau de gaz équivalent	184
▪ Intérêt d'un raccordement pour un bailleur social	184
5. Planification type pour une nouvelle opération de géothermie profonde.....	184
B. Analyse technico-économique pour les villes retenues dans le groupe 1	185
1. Champigny sur-Marne	186
a) <i>Description technique de l'opération</i>	186
▪ Périmètre retenu.....	186
▪ Patrimoine Social Raccordable.....	186
▪ Patrimoine Communal et Départemental.....	186
▪ Carte.....	186
▪ Résultats Energétiques et Environnementaux	188
▪ Perspectives pour optimiser les résultats	189
b) <i>Analyse économique</i>	189
▪ Investissements & Aides	189
▪ Compte d'exploitation prévisionnel	190
2. Le Kremlin-Bicêtre.....	191
a) <i>Description technique de l'opération</i>	191
▪ Périmètre retenu.....	191
▪ Patrimoine Social Raccordable.....	191
▪ Patrimoine Communal et Départemental.....	191

▪	Carte.....	191
▪	Résultats Energétiques et Environnementaux.....	193
▪	Perspectives pour optimiser les résultats.....	194
b)	<i>Analyse économique</i>	194
▪	Investissements & Aides.....	194
▪	Compte d'exploitation prévisionnel.....	195
3.	Bry-sur-Marne/Villiers-sur-Marne.....	196
a)	<i>Description technique de l'opération</i>	196
▪	Périmètre retenu.....	196
▪	Patrimoine Social Raccordable.....	196
▪	Patrimoine Communal et Départemental.....	196
▪	Carte.....	196
▪	Résultats Energétiques et Environnementaux.....	198
▪	Perspectives pour optimiser les résultats.....	199
b)	<i>Analyse économique</i>	199
▪	Investissements & Aides.....	199
▪	Compte d'exploitation prévisionnel.....	200
4.	Communauté de Communes de Charenton-le-Pont et Saint-Maurice.....	201
a)	<i>Description technique de l'opération</i>	201
▪	Périmètre retenu.....	201
▪	Patrimoine Social Raccordable.....	201
▪	Patrimoine Communal et Départemental.....	201
▪	Carte.....	201
▪	Résultats Energétiques et Environnementaux.....	203
▪	Perspectives pour optimiser les résultats.....	204
b)	<i>Analyse économique</i>	204
▪	Investissements & Aides.....	204
▪	Compte d'exploitation prévisionnel.....	205
C.	Synthèse des potentialités pour le Val-de-Marne.....	206
	SCHEMA DIRECTEUR.....	207
1.	ENJEUX ET PERSPECTIVES D'EXPLOITATION DE LA GEOTHERMIE PROFONDE	207
A.	Nécessité d'une compréhension fine du comportement du réservoir du Dogger.....	207
1.	Modélisation du réservoir à l'échelle régionale.....	208
2.	Analyse de sensibilité des modèles de réservoir du Dogger.....	215
B.	Développement de la filière, innovations technologiques et objectifs d'exploration/exploitation.....	218
1.	Réhabilitation des infrastructures minières.....	218
a)	<i>Restauration des ouvrages existants</i>	218
b)	<i>Doublet versus triplet</i>	219
2.	Développement de nouveaux aquifères candidats.....	221
a)	<i>Albien-Néocomien</i>	221
b)	<i>Lusitanien</i>	222

c) <i>Trias inférieur</i>	223
3. Développement de nouvelles architectures de puits	226
4. Stockage de chaleur saisonnier en aquifère	231
C. La géothermie, une énergie renouvelable ?	233
2. PLAN D’ACTION	235
A. Aspects énergétiques.....	235
1. Introduire une ENR&R de pointe dans le bouquet énergétique des réseaux.....	235
2. Imposer dans les nouvelles constructions des régimes de basse température.....	236
3. Développer la filière Bois	237
4. Bonifier la transformation prévue de la centrale EDF de Vitry-sur-Seine.....	238
5. Encourager le développement de réseaux de froid urbain	239
B. Aménagement du territoire	239
1. Création de zones de développement prioritaire des RCU.....	239
2. Imposer la création d’un RCU avec une ZAC.....	239
3. Exploiter le gisement du chauffage individuel	240
C. Aspects sociaux.....	240
1. Généraliser le principe de lutte contre la précarité énergétique pour les réseaux ENR&R.....	240
D. Financier	242
1. Conséquences potentielles du développement des pétroles et gaz des schistes	242
2. Contribution Climat Energie (CCE)	242
3. Favoriser le regroupement de commandes, notamment pour les forages géothermiques.....	244
3. MISE EN PERSPECTIVE - PROSPECTIVE.....	246
CONCLUSION.....	249
GLOSSAIRE	251
ANNEXE : RESSOURCE GEOTHERMIQUE MOBILISABLE ET TAUX DE RECUPERATION DE LA CHALEUR EN PLACE.....	254
ANNEXE : BIBLIOGRAPHIE.....	263
ANNEXE : ATLAS DEPARTEMENTAL.....	264

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 et autres polluants, les réseaux de chaleur alimentés par des énergies renouvelables et de récupération présentent d'indéniables intérêts en Ile-de-France et plus particulièrement dans le Val-de-Marne.

La géothermie, parmi ces énergies renouvelables, est présente sur tout le territoire francilien avec des caractéristiques géologiques variables et notamment d'excellentes potentialités sur le Val-de-Marne. 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, le SIPPAREC en collaboration avec les services du Conseil Général du Val-de-Marne, a lancé la réalisation d'un « Schéma Directeur » des réseaux de chaleur sur le département du Val-de-Marne. L'objectif est de réaliser un état des lieux des réseaux de chaleur et de dresser les perspectives de recours à ce vecteur d'énergies renouvelables, et ainsi élaborer une prospective.

ETAT DES LIEUX

1. Principes généraux

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

Un réseau de chaleur est constitué :

- D'une production de chaleur
- D'un réseau de distribution
- De postes de livraison de chaleur

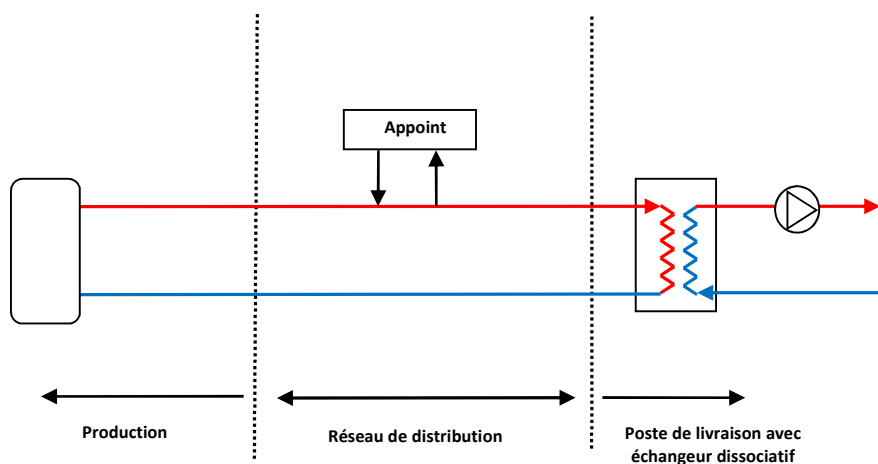


Figure 7 : Schéma-type de fonctionnement d'un réseau de chaleur

1. *Production de chaleur*

La production de chaleur pour des réseaux de chaleur peut être assurée par des énergies fossiles, renouvelables ou de récupération. Suivant le cas, celle-ci peut être réalisée avec :

- Des chaudières pour des combustibles solides (charbon, bois-énergie), gazeux (gaz, biométhane) ou liquides (fioul)
- Des échangeurs de production (géothermie, récupération de chaleur, solaire thermique)
- Directement (solaire thermique)

2. Le réseau de distribution

Le réseau de distribution a pour but d'amener la chaleur produite, éventuellement appointée, aux abonnés via des postes de livraison de chaleur : les sous-stations.

3 grands types de vecteur de chaleur sont actuellement utilisés :

- La vapeur : température entre 200 et 300°C
- L'eau surchauffée (ou Eau Chaude Haute Pression) : température d'eau supérieure à 110 °C et pression supérieure à 16 bars.
- L'eau chaude (ou Eau Chaude Basse Pression) : température d'eau inférieure à 110 °C, pression comprise entre 10 et 16 bars.

La Vapeur n'est quasiment utilisée que par le réseau de Paris, L'eau surchauffée est généralement utilisée pour les réseaux de taille importante. L'eau chaude constitue le vecteur majoritaire des réseaux de chaleur.

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.

3. 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).

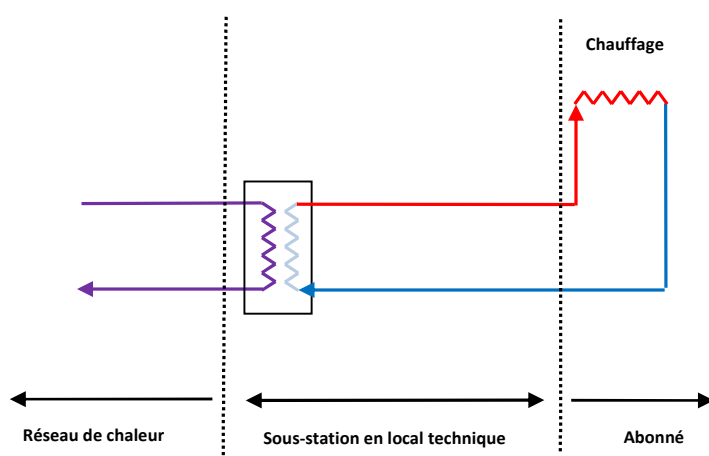


Figure 8 : Schéma-type de fonctionnement d'une sous-station pour le chauffage uniquement

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.

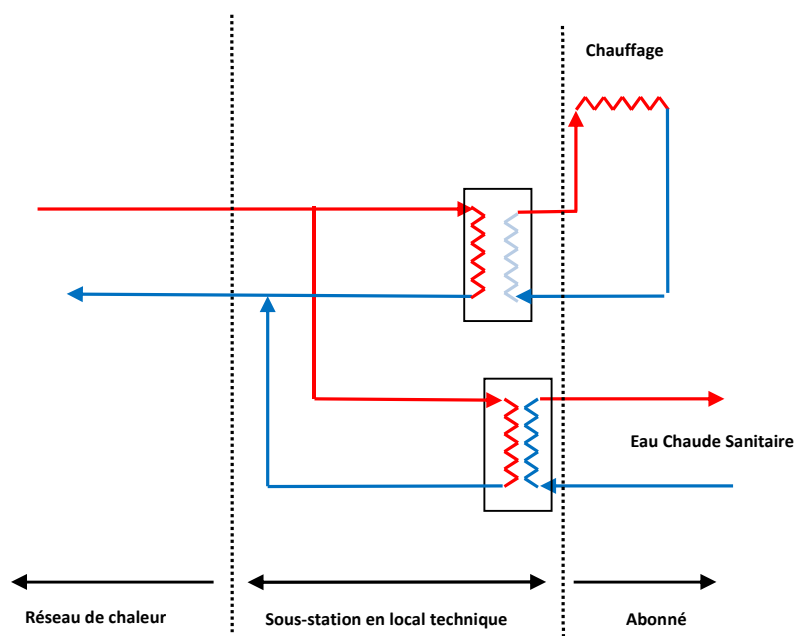


Figure 9 : Schéma-type de fonctionnement d'une sous-station pour le chauffage et la production d'ECS

a) Intégration des systèmes d'appoint-secours

Les systèmes d'appoint sont indispensables sitôt que la demande en chaleur dépasse les capacités de production des moyens de production de base. 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 des énergies renouvelables et/ou de récupération. 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 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 (cf. Figure 10).
- 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 12). Cette solution sera retenue pour l'évaluation des variantes avec PAC dans la suite de l'étude en raison de son coût de mise en œuvre réduit par rapport à la première solution.

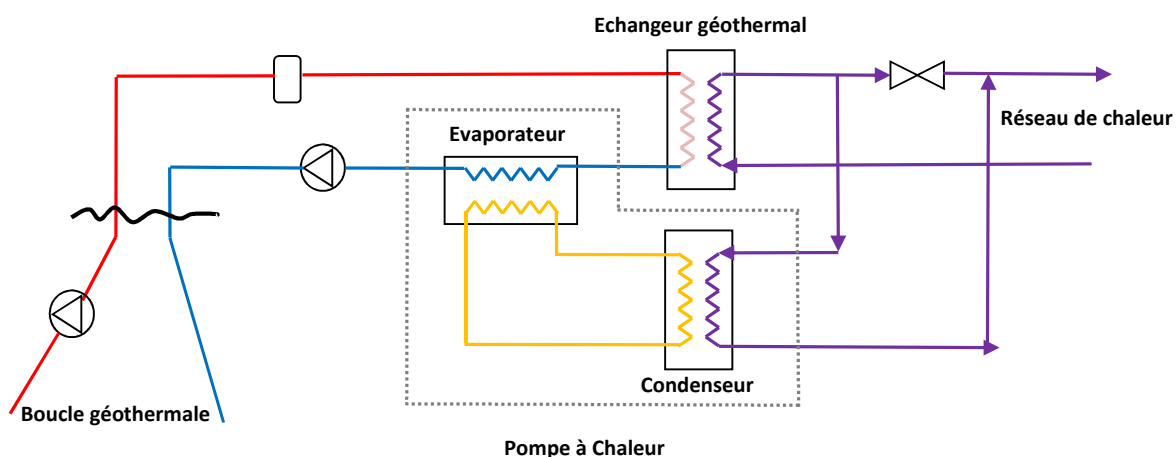


Figure 10 : Schéma d'intégration de pompes à chaleur sur un réseau géothermique
Montage du condenseur en parallèle avec l'échangeur géothermique

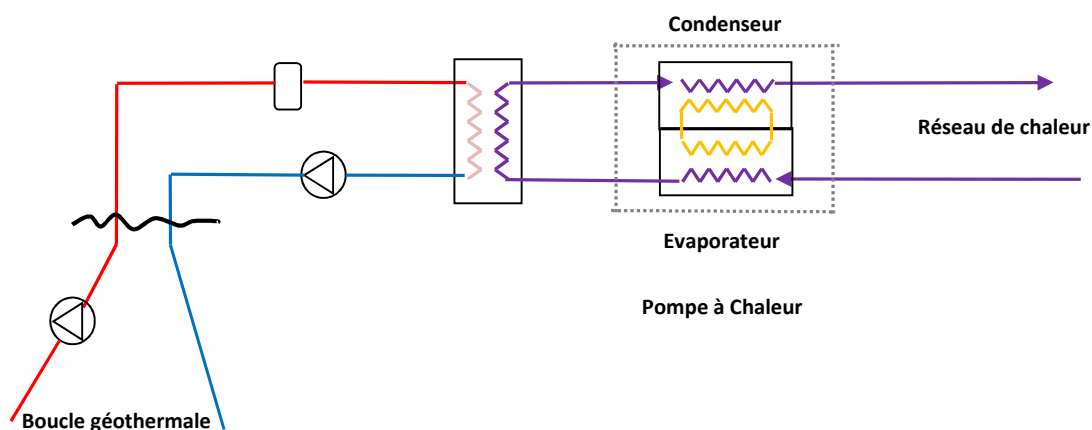


Figure 11 : Intégration d'une PAC sur un réseau de chaleur géothermique
Montage du condenseur en série avec l'échangeur géothermique

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.

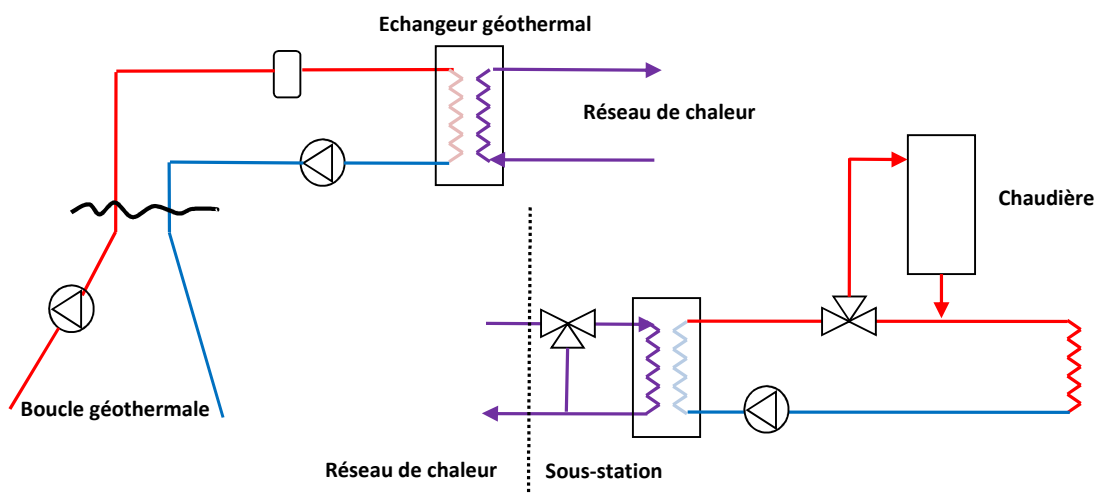


Figure 12 : Schéma d'intégration d'un appoint décentralisé sur un réseau de chaleur

- 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.

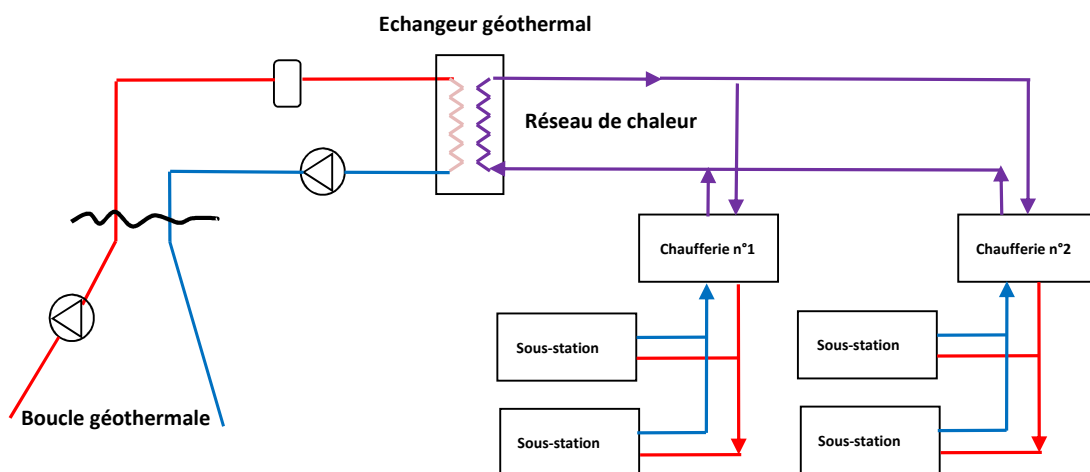


Figure 13 : Schéma d'intégration d'un appoint semi-centralisé sur un réseau de chaleur

- 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.

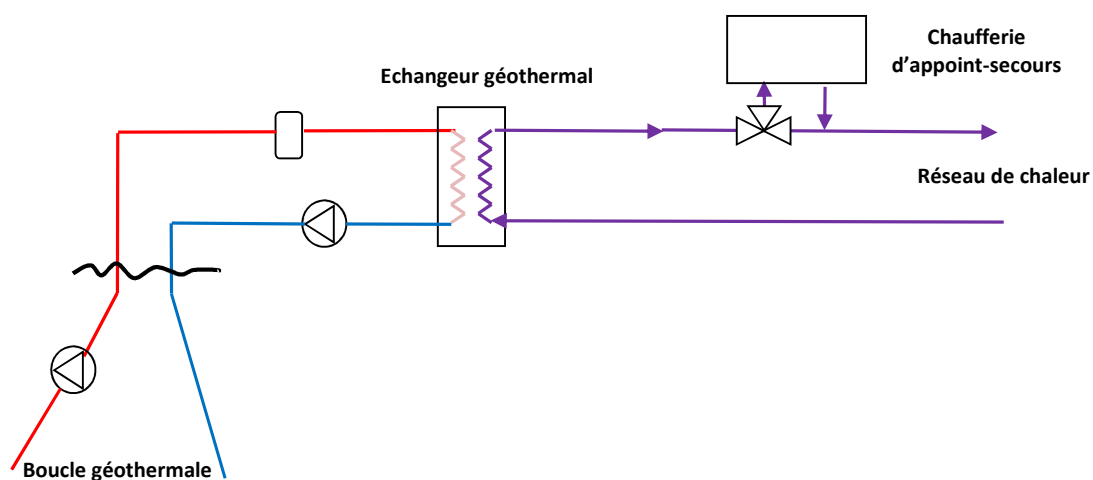


Figure 14 : Schéma d'intégration d'un appoint centralisé sur un réseau de chaleur

B. Géothermie profonde

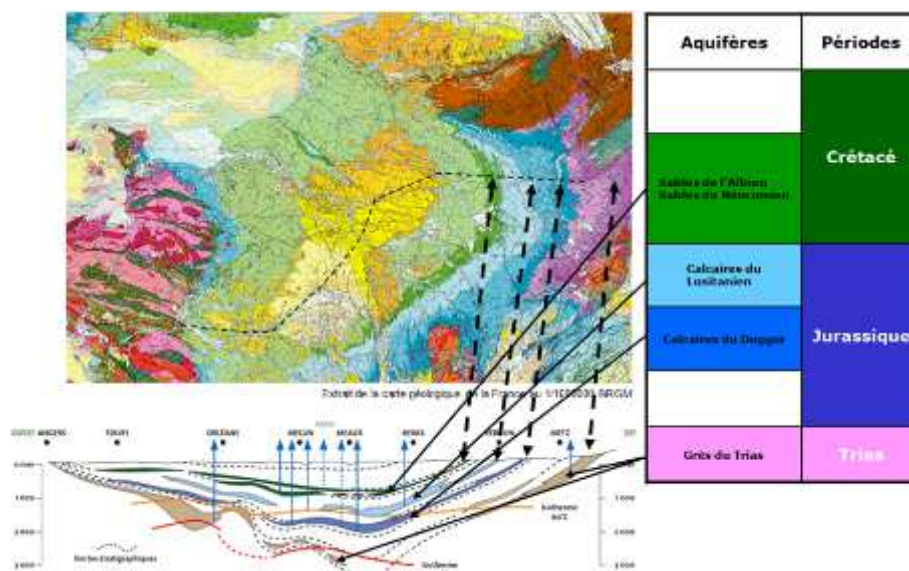
1. Cartographie de la ressource

L'Ile-de-France est située au cœur du bassin parisien, constituant la plus vaste région géologique du territoire français. Il s'agit d'une cuvette sédimentaire, qui s'étend sur plus de 500 km d'est en ouest et sur 300 km du nord au sud, encadrée par les massifs hercyniens¹ et par les collines de l'Artois au nord.

Cette région géologique est formée d'un empilement de couches sédimentaires déposées durant 250 millions d'années sur un socle cristallin ancien, sous l'effet de l'alternance des phases de transgression et régression marines.

Parmi ces formations sédimentaires, certaines sont aquifères. Du fait du gradient géothermal naturel, plus ces formations sont profondes, plus leur température est élevée. Le gradient géothermal est l'accroissement de la température en fonction de la profondeur. Il est en moyenne, sur la planète, de 3,3°C par 100 mètres, le flux d'énergie thermique à l'origine de ce gradient étant de l'ordre de 60 mW/m². Mais ces valeurs peuvent être nettement supérieures dans certaines zones instables du globe, et même varier de façon importante dans les zones continentales stables. Ainsi, le gradient géothermal est en moyenne de 4°C tous les 100 m en France, et varie de 10°C/100 m dans le nord de l'Alsace à seulement 2°C/100 m au pied des Pyrénées.

On distingue quatre aquifères profonds dans le bassin parisien, de la base vers la surface (Cf. Figure 15) : les Grès du Trias, les Calcaires du Dogger (d'âge Jurassique moyen), les Calcaires du Lusitanien (d'âge Jurassique supérieur), et les sables de l'Albien et du Néocomien (du Crétacé inférieur). Les principales caractéristiques de ces aquifères au droit du Val-de-Marne sont détaillées dans les paragraphes suivants.



¹ Ardennes au nord-est, Vosges à l'est, Massif central au sud, Massif armoricain à l'ouest.

Figure 15 : Coupe géologique schématique du Bassin parisien avec localisation des principaux aquifères (source : www.géothermie-perspectives.fr)

a) Grès du Trias

Contrairement au réservoir du Dogger, caractéristique d'un milieu carbonaté, constitué de couches épaisses, homogènes et continues sans argile, les réservoirs clastiques du Trias sont caractérisés par des hétérogénéités² qui se retrouvent à différentes échelles. En général, les corps sableux et gréseux se déposent en alternance avec des bancs argileux et sont plus ou moins connectés entre eux.

Une des raisons principales des difficultés d'exploitation réside dans cette hétérogénéité, un obstacle majeur en matière de réinjection. Les hétérogénéités du corps sédimentaire s'échelonnent des échelles hectométrique (le réservoir), à métrique (le puits) et, enfin, millimétrique intergranulaire (le pore) ainsi que décrit en Figure 16.

Il existe cinq signatures lithologiques du Trias, susceptibles de constituer des réservoirs géothermiques :

- Les Grès continentaux de Boissy (Keuper supérieur, Rhétien)
- Les Grès du Rhétien marin (Keuper supérieur, Rhétien)
- Les Grès de Chaunoy (Keuper moyen et supérieur, Rhétien)
- Les Grès de Sainte-Colombe-Voulzie (Keuper moyen, Carnien)
- Les Grès de Donnemaire (Muschelkalk et Keuper inférieur, Anisien à Carnien).

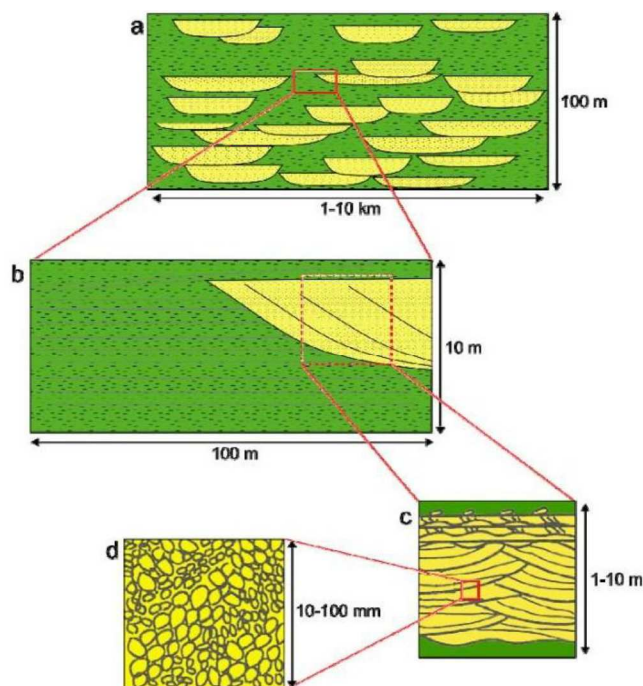


Figure 16 : Hiérarchies des hétérogénéités dans un contexte fluvio-deltaïque (d'après Weber, 1986)

² Variations latérales de faciès.

Bien que le Trias ait 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. Le BRGM a réalisé deux projets (CLASTIQ 1&2), afin d'évaluer le potentiel géothermique de ces cinq réservoirs gréseux, qui ont démontré un potentiel non négligeable sur certaines zones. Il ressort de cette étude que le Trias pourrait présenter un intérêt au sens d'un aquifère de repli dans le cas d'une saturation locale de l'exploitation du Dogger. Dans le Val-de-Marne le toit de cet aquifère (Rhétien) se situerait à une profondeur variant de -1800 à -2100 m NGF ; il contiendrait de l'eau comprise entre 74 et 86°C (Cf. Figure 17, Figure 18 et Tableau 1).

Paramètre	Valeur dans le Val-de-Marne
Cote du toit	-1 800 à -2 100 m NGF
Transmissivité	0,5 - 10 Dm
Température	74 à 86°C
Salinité	> 100 g/l

Tableau 1 : Caractéristiques géologiques du Trias

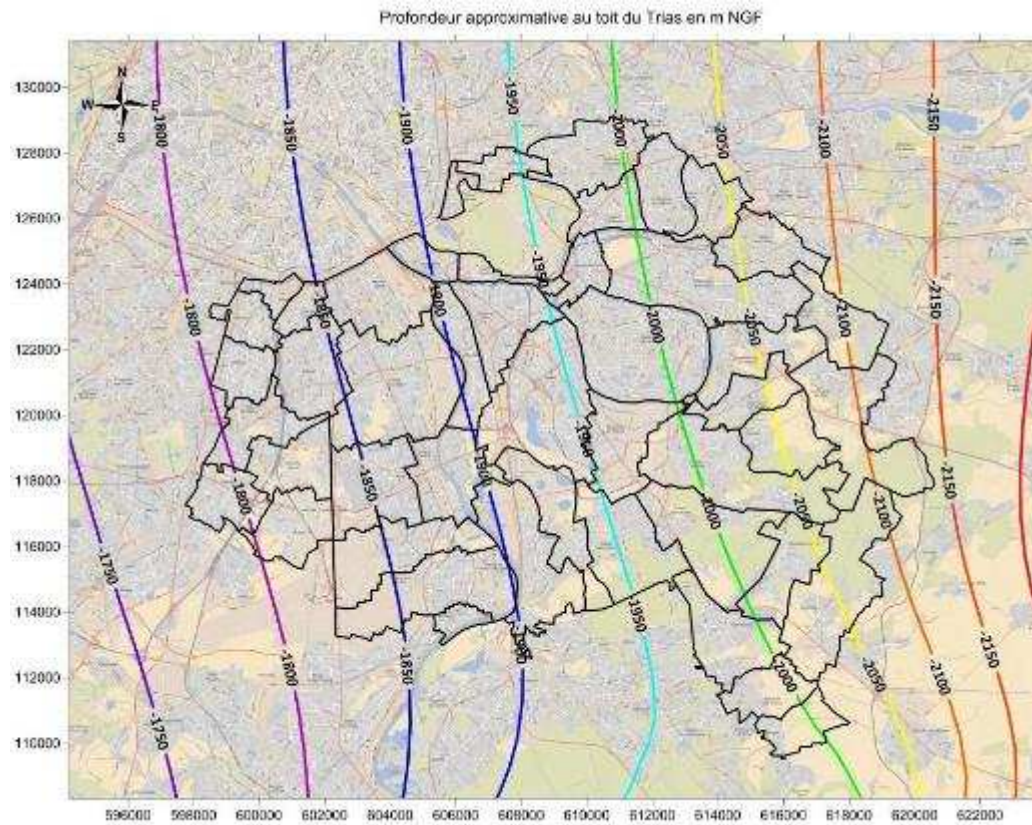
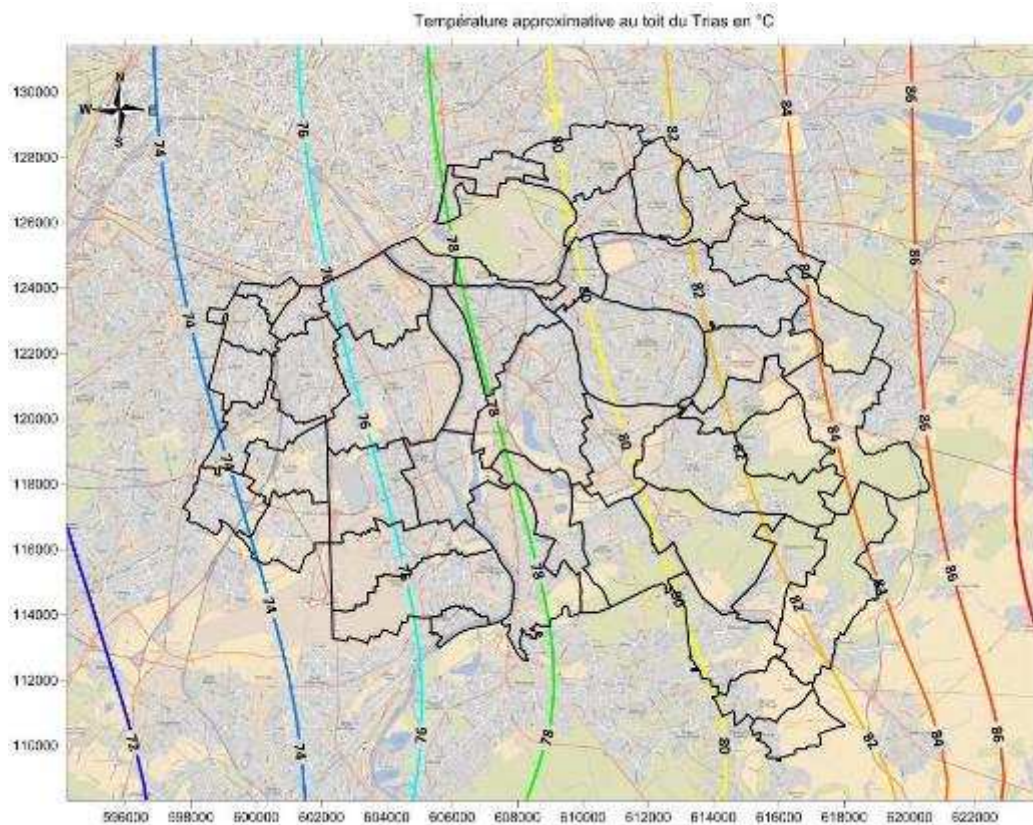


Figure 17 : Carte de la variation de la profondeur au toit du Trias (rhétien) dans le département du Val-de-Marne

Figure 18 : Carte de la variation de la température au toit du Trias (rhétien) dans le département du Val-de-Marne



b) Calcaires du Dogger

Les calcaires du Dogger constituent l'aquifère le mieux connu en Ile-de-France, car il y est exploité depuis le début des années 1980. Aujourd'hui, il existe 34 opérations de géothermie basse énergie au Dogger en exploitation en Ile-de-France, dont 16 dans le Val-de-Marne.

Dans le Val-de-Marne, l'aquifère est situé entre 1 500 et 1 800 m de profondeur par rapport au sol. Les paramètres jouant un rôle prépondérant dans la productivité de l'aquifère tels que la transmissivité³ et l'épaisseur productive montrent une grande variabilité sur le département, témoignant de variations locales des propriétés géologiques.

En lien avec la profondeur, la température de l'aquifère est également variable sur le département.

Une carte de répartition de chacun de ces paramètres peut être dressée sur le territoire de l'étude à partir de l'interpolation des valeurs ponctuelles relevées aux puits. Elles sont présentées en figure suivante, et montrent que le sud-est du département présente les meilleures caractéristiques pour ces trois paramètres.

L'eau géothermale du Dogger est assez minéralisée, la salinité totale du fluide étant comprise entre 13 et 27 g/l. La phase ionique dissoute est principalement chlorurée sodique (85%), sulfatée, bicarbonatée calcique et magnésienne.

L'eau géothermale présente également une phase gazeuse dissoute, essentiellement constituée de méthane, azote, gaz carbonique et dérivés alcaniques⁴ ainsi que pour une faible part d'H₂S.

Paramètre	Valeurs dans le Val de Marne
Profondeur du toit	1 500 à 1 800 m/sol
Transmissivité	10 à 115 Dm
Epaisseur productive cumulée	4 à 31 m
Température	60 à 78 °C
Débit d'exploitation	180 à 300 m ³ /h
Salinité	13 à 27 g/l

Tableau 2 : Caractéristiques géologiques des Calcaires du Dogger dans le Val-de-Marne

³ La transmissivité d'un aquifère permet d'évaluer la vitesse de circulation de l'eau dans celui-ci, et donc sa productivité, fonction de son coefficient de perméabilité et de son épaisseur.

⁴ éthane essentiellement

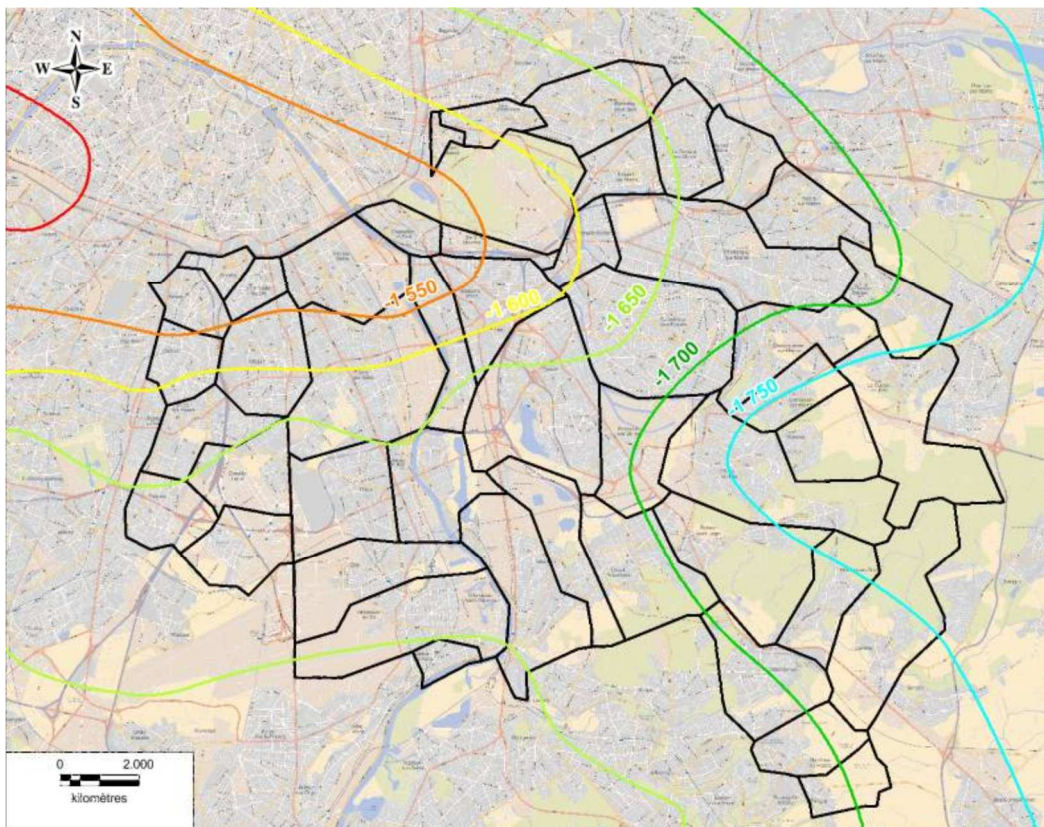


Figure 19 : Carte de variation de la profondeur du Dogger (en m/sol) dans le département du Val-de-Marne

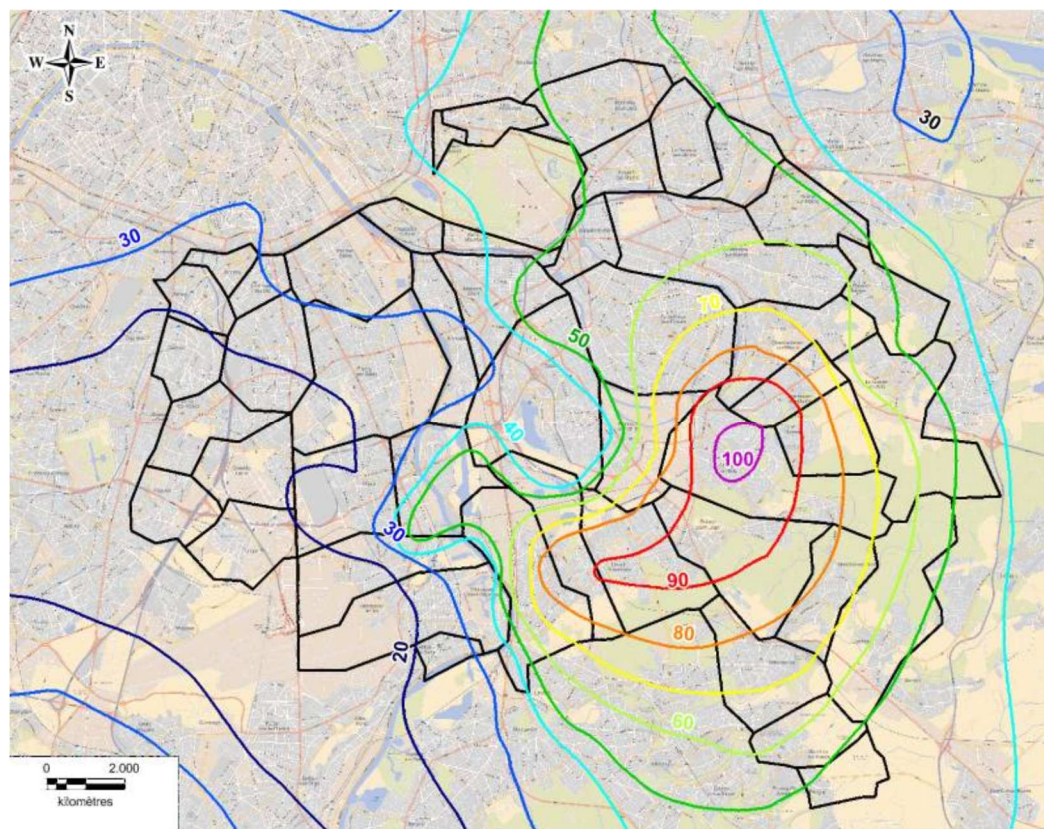


Figure 20 : Cartes de variation de la transmissivité du Dogger (en Darcy.m) dans le département du Val-de-Marne

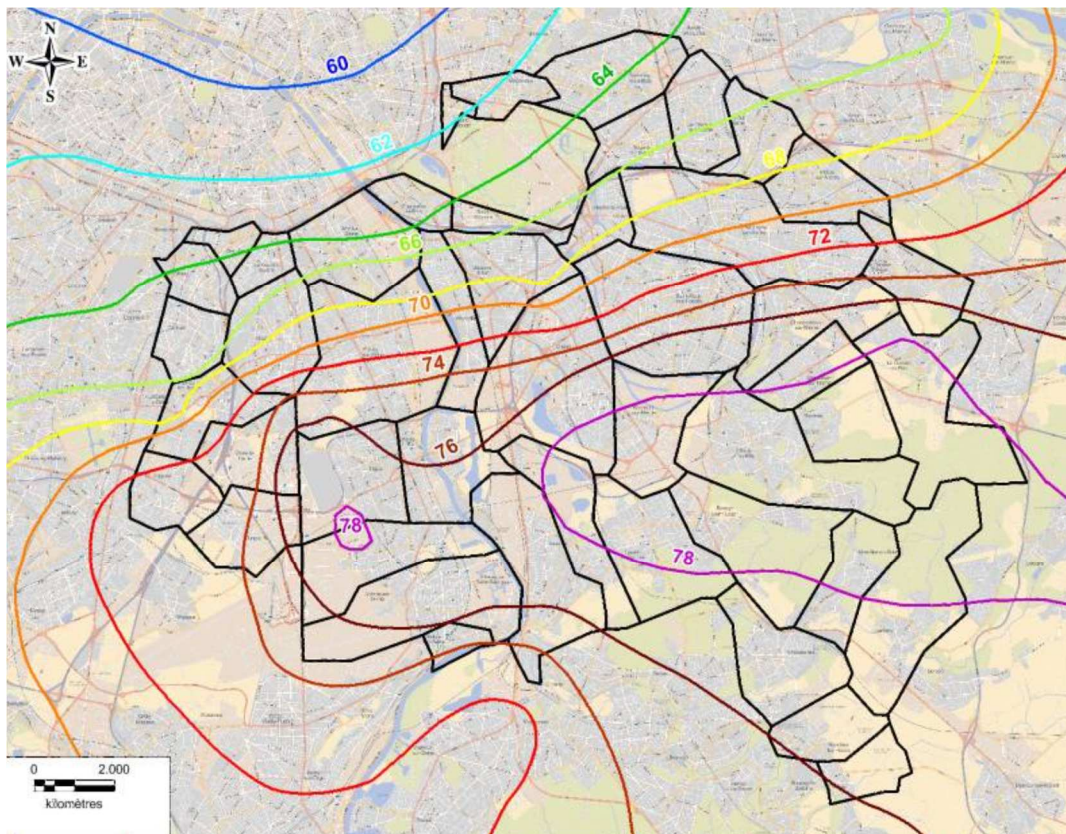


Figure 21: Carte de variation de la température du Dogger (en °C) dans le département du Val-de-Marne

c) Calcaires du Lusitanien

Cet aquifère, peu exploré, a été reconnu comme réservoir pour les gisements d'hydrocarbure dans le département de la Marne. Il est constitué d'une succession de calcaires oolithiques, graveleux, bioclastiques, plus ou moins argileux. Les principaux éléments concernant cet aquifère sont présentés dans le Tableau 3 et le Tableau 4.

Dans le Val-de-Marne cet aquifère renfermerait de l'eau entre 47 et 57°C à une profondeur allant de -1 050 à -1 250 m NGF (Cf. Tableau 4). Les cartes de profondeur et de températures ont été dressées à partir de l'interpolation des coupes géologiques des forages géothermiques au Dogger. Dans le passé, deux tests de productivité ont été effectués sur les puits géothermiques d'Orly et de Ris-Orangis. Celle-ci est très variable, et la transmissivité a été estimée entre 5 et 95 Dm.

Il existe peu de données sur la composition chimique des eaux du Lusitanien. D'après les puits d'Auvernaux, d'Achères et d'Orly la salinité totale serait voisine de 10 g/l.

Un doublet pilote au Lusitanien devrait-être foré à Vitry-sur-Seine dans un futur proche. Durant le forage du puits producteur de Neuilly-sur-Marne, il a été observé une surpression (venue d'eau) au droit de l'aquifère du Lusitanien.

Tableau 3 : Réservoir du Lusitanien en Ile-de-France

Stratigraphie		Lithologie	Réservoir
Lusitanien	Séquanien	Calcaires plus ou moins argileux	Peu poreux et argileux
	Rauracien	Calcaires	Très poreux
	Argovien	Marnes	Argileux

Tableau 4 : Caractéristiques géologiques du Lusitanien

Paramètre	Valeur dans le Val-de-Marne
Cote du toit	-1050 à -1250 m NGF
Transmissivité	5 - 95 Dm
Température	47 à 57°C
Salinité	≈ 10 g/l

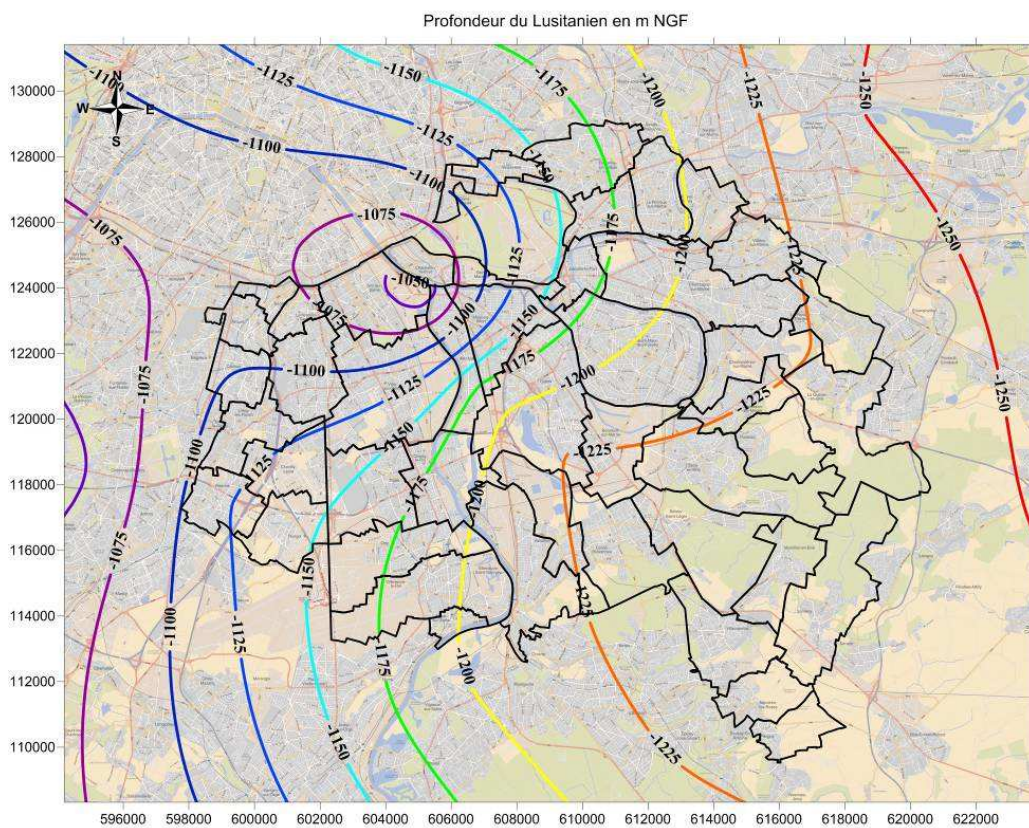


Figure 22 : Carte de variation de la profondeur du Lusitanien dans le département du Val-de-Marne

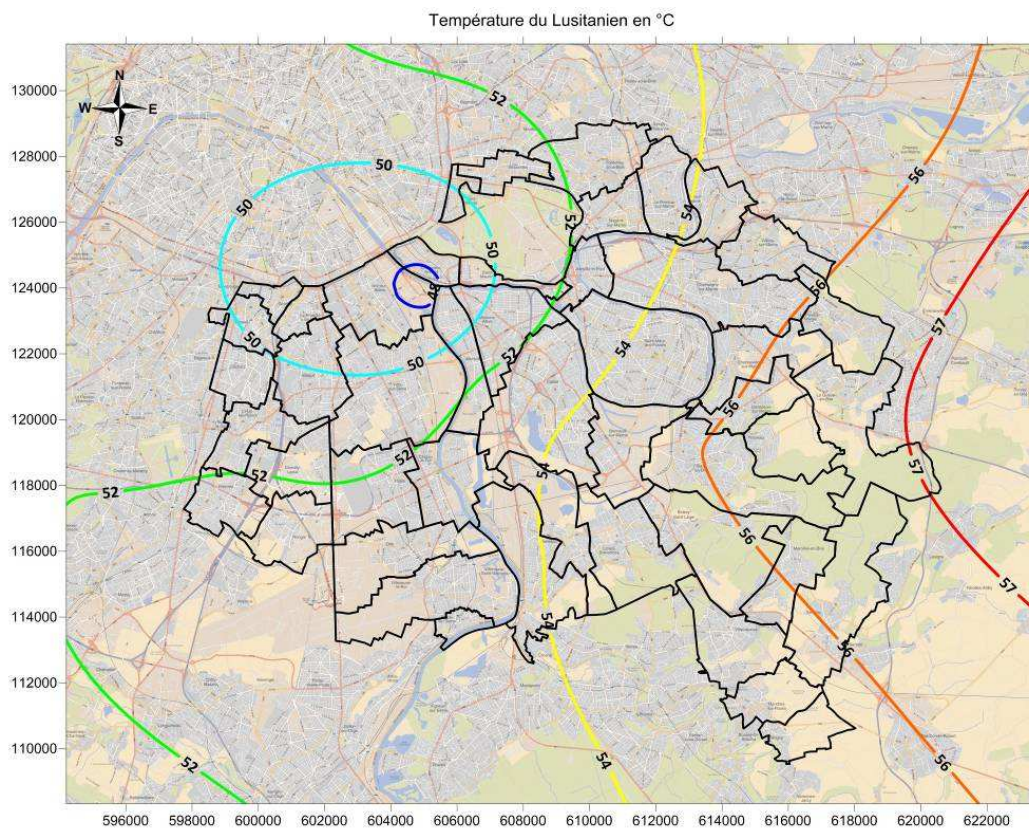


Figure 23 : Carte de variation de la température du Lusitanien dans le département du Val-de-Marne

d) Sables de l'Albien et du Néocomien

L'aquifère de l'Albo-Aptien, d'extension régionale, constitue (avec le Néocomien) la réserve stratégique d'eau potable pour l'Île de France. A ce titre, son exploitation est étroitement surveillée par la DRIEE. L'Albien a notamment été utilisé à Ivry-sur-Seine pour des besoins en eau potable et industrielle.

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 16^{ème}). Sa température intermédiaire, entre 28 et 37°C sur le département, permet un usage pour la production de chaleur ou de froid en utilisant une pompe à chaleur.

Du point de vue géologique, le réservoir est constitué d'une alternance de trois couches de sables, séparées par des niveaux intercalaires argileux. La corrélation des coupes de puits relevées sur les forages d'Ivry-sur-Seine et d'une dizaine d'autres sites, permet de situer l'Albien entre -500 et -720 m NGF et le Néocomien entre -710 et -890 m NGF (Cf. Figure 24 et Figure 26).

La température de la ressource, nettement plus faible que celle du Dogger, limite l'utilisation de l'Albien et du Néocomien 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.

Tableau 5 : Caractéristiques géologiques des aquifères de l'Albien et du Néocomien

Paramètre	Albien	Néocomien
Cote du toit	-520 à -700 m NGF	-730 à -870 m NGF
Transmissivité	10^{-3} à 10^{-2} m ² /s	10^{-3} m ² /s
Température	28 à 37°C	34 à 43°C
Salinité	< 1g/l	< 1g/l

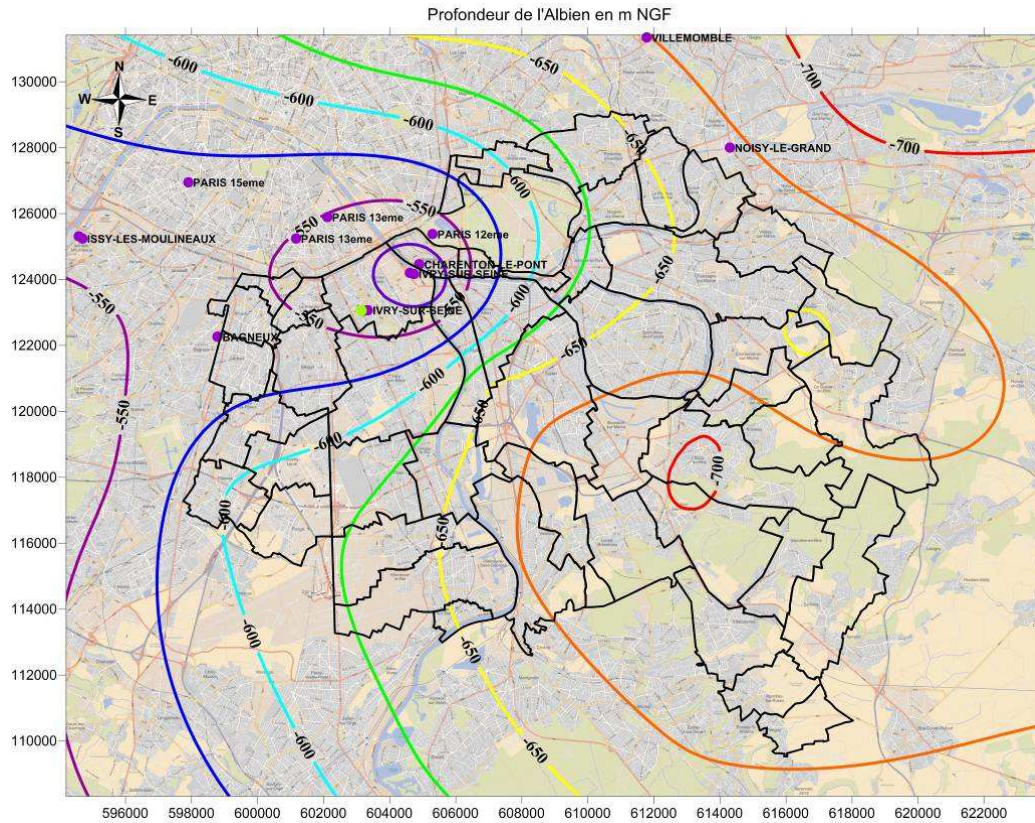


Figure 24 : Carte de variation de la profondeur de l'Albien dans le département du Val-de-Marne

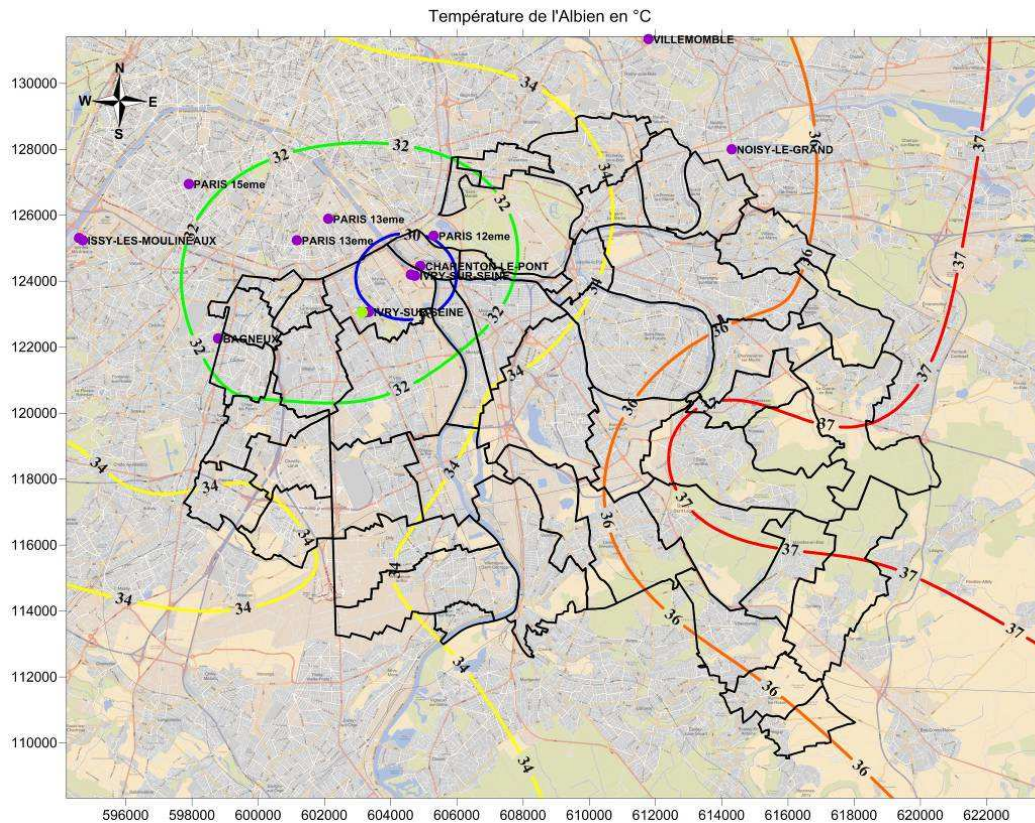


Figure 25 : Carte de variation de la température de l'Albien dans le département du Val-de-Marne

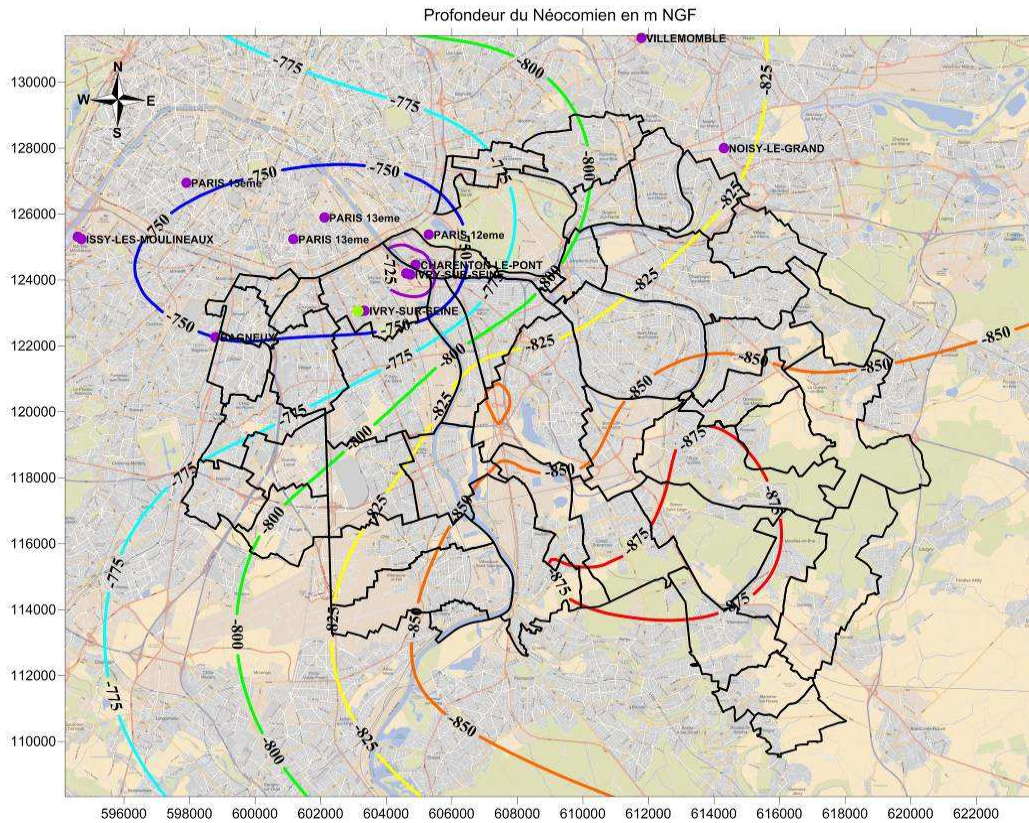


Figure 26 : Carte de variation de la profondeur du Néocomien dans le département du Val-de-Marne

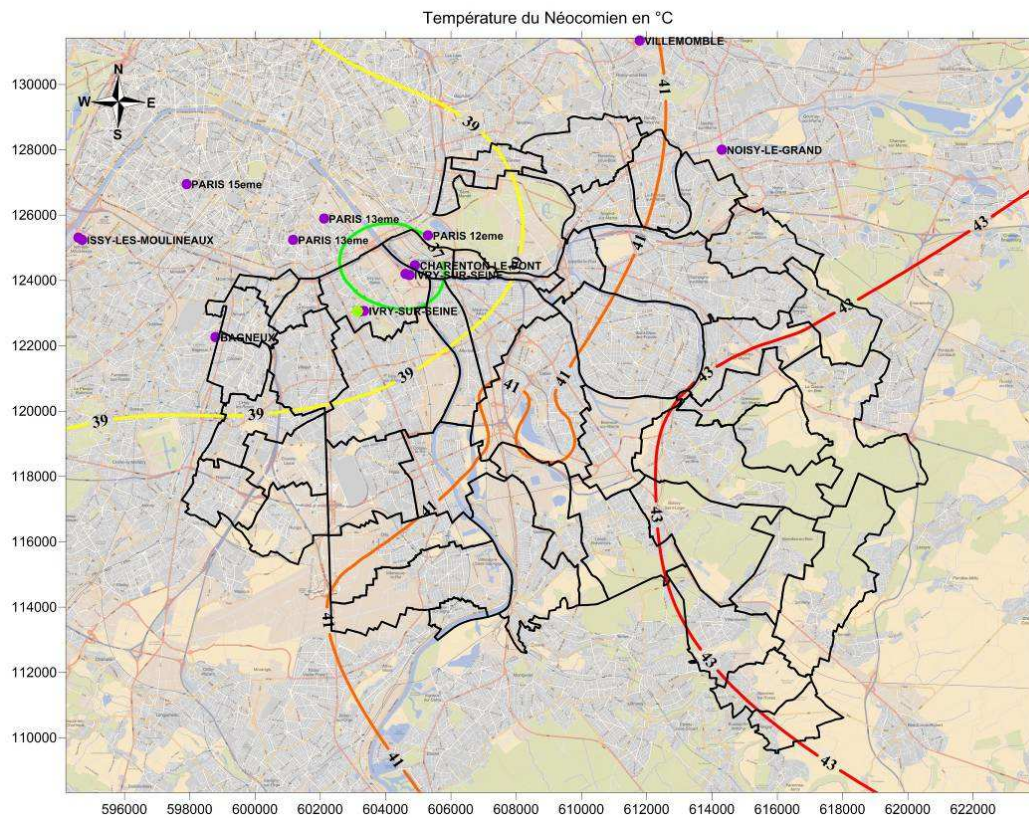


Figure 27 : Carte de variation de la température du Néocomien dans le département du Val-de-Marne

Référence	Aquifère	Département	Commune	Adresse	Profondeur(m)	Etat ouvrage	Utilisation	x local	y local	z (m NGF)	Année	Débit (m³/h)	Rabattement	Température (°C)	T (m²/s)
01836D0038/F	Albien	92	Bagneux	98 av. a.Briand	625,92	Non exploité	Eau industrielle	598790	122260	77,06	1944	180	7,5	29	
01837D0484/F1	Albien		Charenton-le-Pont	7 place Bobillot	580	Non exploité	Eau collective	604900	124460	33,75	1934				
01837D0085/F	Albien	94	Charenton-le-Pont	7 place Bobillot	575	Non exploité	Eau collective	604900	124460	33,75	1934				
01836A0128/F	Albien	92	Issy-les-Moulineaux	14 rue Rouget de l'Isle	571,5	Non exploité	Eau industrielle	594590	125305	30	1965	200	20	27,4	5,00E-03
01836A0031/F1	Albien	92	Issy-les-Moulineaux	14 rue Rouget de l'Isle	497,6	Remblayé et cimenté (1974)	Eau industrielle	594695	125240	32	1923	200			5,00E-03
01837C0173/F1	Albien-Néocomien	94	Ivry-sur-Seine	112 rue Marcel Hartmann	744,21	Remblayé (1970)	Eau industrielle	603240	123060	64	1934	309	9,5	32	
01837D0139/F2	Albien	94	Ivry-sur-Seine	112 rue Marcel Hartmann	650	Non exploité	Embouteillage	603340	123070	64	1969	200	33,4		
01837D0073/F2	Albien	94	Ivry-sur-Seine	48 quai Auguste Deshaies	605	Non exploité	Eau industrielle	604730	124170	32	1966	243	48,9	28,7	1,90E-03
01837D0039/F1	Albien	94	Ivry-sur-Seine	Vins du Postillon	560,15	Non exploité	Eau industrielle	604610	124200	30	1936	300		28,2	2,40E-03
01845X0013/F	Albien	93	Noisy-le-Grand	Quai des deux ponts	764,06	Non exploité	AEP	614300	128000	37,4	1934	250	15,5	33	
01837B0079/F	Albien	75	Paris 12eme	Bois de Vincennes	597	Remblayé	Eau industrielle	605300	125380	50	1900			27	
01837A0114/F	Albien	75	Paris 13eme	La butte aux Cailles place Paul Verlaine	677,67	Remblayé et cimenté	Eau service publique	601170	125240	59,07	1934	210		29,1	
01837A0096/F2	Albien	75	Paris 13eme	85, rue Dunois	622	Non exploité	Eau industrielle, piézomètre	602110	125890	40,6	1933	200	14,4	28	
01836B0048/F	Albien	75	Paris 15eme	17, rue Blomet - piscine	590	Non exploité	Eau industrielle	597900	126950	37,35	1931				
01836A0032/F	Albien	75	Paris 18eme	Maison de la Radio	788.3	Exploité	Eau-industrielle	595703	128035	29,20	1956	120		27	
01834D0017/F	Albien	93	Villemomble	Route de Noisy	849,82	Non exploité	Eau collective	611780	131340	70,5	1934	244	11	31,8	
02197X0073/F	Albien	91	Viry-Châtillon	rue de Ris	688,9	Exploité	AEP	603960	108280	34	1931	370		33,5	

Tableau 6 : Inventaire et productivité des puits captant l'Albien et le Néocomien (Source : Infoterre BSS) dans Paris et la proche couronne

2. Historique

Suite à la découverte de l'eau géothermale du Dogger dans les années 1950 au cours de l'exploration pétrolière du bassin parisien, le premier doublet géothermique de chauffage urbain est réalisé en 1969 sur le site de Melun l'Almont (77).

Au début des années 1980, la géothermie basse énergie a connu un rapide démarrage sous les effets des chocs pétroliers et de la mise en place de politiques incitatives. Près d'une centaine d'opérations en majorité dans le Bassin parisien sont alors réalisées jusqu'en 1985.

A cette date, des problèmes économiques (cours du pétrole), techniques (corrosion et dépôts dans les tubages) et financiers (prêts contractés avec des taux élevés en période d'inflation vite révolue) stopperont net le développement de la filière.

En 1989, les pouvoirs publics s'engagent dans une négociation avec les maîtres d'ouvrage du Bassin parisien. Le rééchelonnement des prêts permettra de sauver une trentaine d'exploitations.

Sur le plan technique, les méthodes de prévention des phénomènes de corrosion/dépôts se perfectionnent. Elles présentent des résultats remarquables, en diminuant significativement les cinétiques d'endommagement des forages.

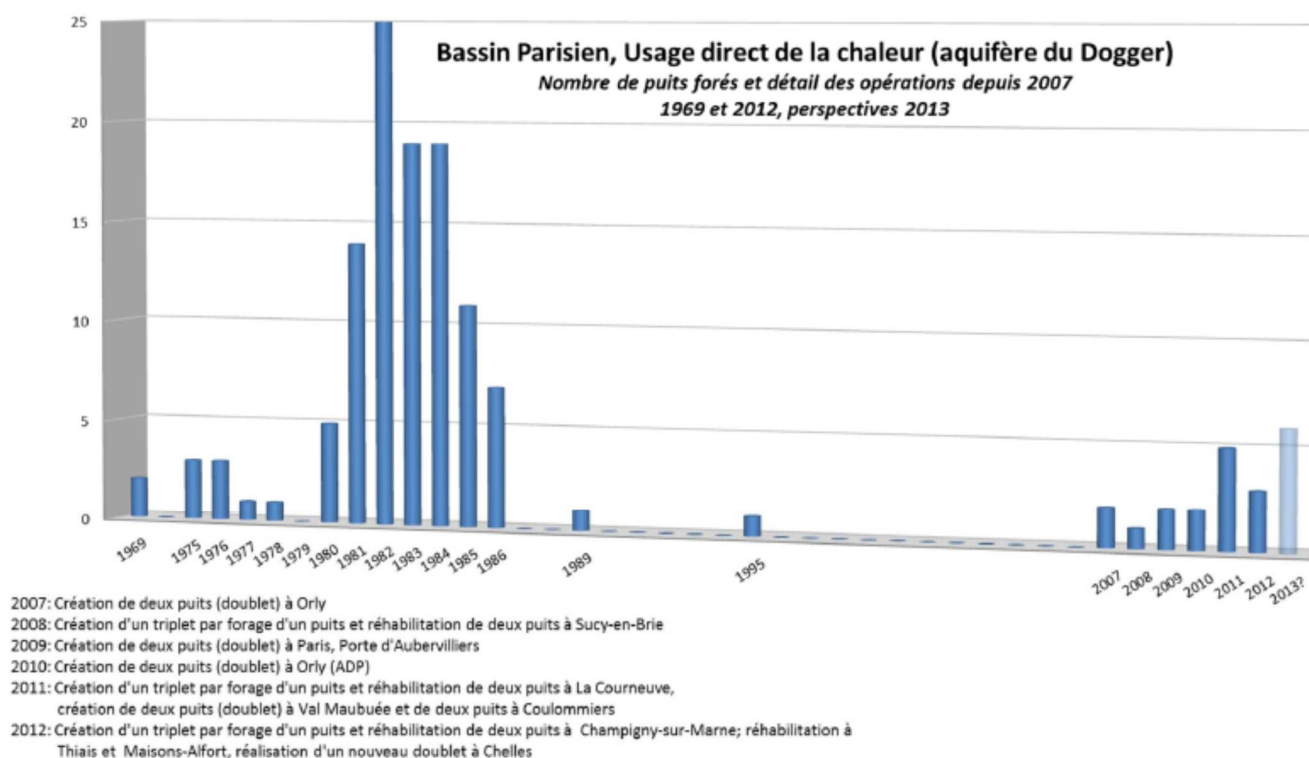


Figure 28 : Historique du nombre de puits forés au Dogger en France
(source : BRGM, Assises des énergies renouvelables en milieu urbain - 18 septembre 2012)

Un seul forage est réalisé dans les années 1990. Il s'agit d'un nouveau puits producteur à Melun l'Almont (77). Il est équipé d'un tubage amovible en fibre de verre, inerte vis-à-vis de l'eau

géothermale, palliant les traitements contre la corrosion et les dépôts. A ce jour, c'est le seul ouvrage existant de ce type.

En 2007, après 12 ans sans forage géothermique profond, la réalisation d'un nouveau doublet à Orly Le Nouvelet marque le début de la reprise de la filière. Il sera suivi par la conversion en triplet du doublet de Sucy-en-Brie et par la première opération de géothermie profonde 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 en cours d'instruction par la DRIEE, la grande majorité dans le Val de Marne.

3. Ressource - réglementation

Les projets de doublets géothermiques profonds sont soumis à autorisation accordée par arrêté préfectoral après enquête publique. En cas de succès de la recherche, l'exploitation du gîte ne peut avoir lieu qu'en vertu d'un permis d'exploitation accordé par le Préfet.

Un périmètre de protection de l'exploitation géothermique est délimité dans l'arrêté d'autorisation de travaux et dans le permis d'exploitation. Il est défini de manière à éviter une trop grande interférence entre opérations voisines. 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 (Cf. Figure 29).

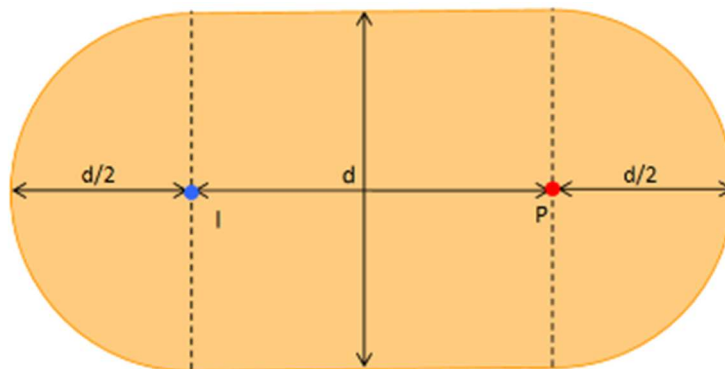


Figure 29 : Périmètre d'exploitation (gélule) définie par Arrêté Préfectoral

Les projets de géothermie dans ces aquifères sont tenus de respecter les dispositions réglementaires du SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) et du SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux).

Les directives du SDAGE du bassin Seine-Normandie et du SAGE sont très strictes vis-à-vis de l'exploitation de l'Albien et du Néocomien, nappes qui constituent une ressource stratégique pour l'alimentation en eau potable (AEP) de secours (Cf. Figure 30).

Dans le Val-de-Marne, 7 nouveaux puits sont nécessaires afin d'assurer la demande de secours pour l'AEP (Cf. Figure 31). En cas d'urgence, le puits producteur devra impérativement pouvoir être connecté rapidement au réseau d'eau potable, et fournir un débit minimum de 150 m³/h.

Disposition 114 → Modalités de gestion de la masse d'eau souterraine 3218 ALBIEN-NEOCOMIEN CAPTIF

La masse d'eau de l'ALBIEN-NEOCOMIEN CAPTIF est une ressource stratégique pour l'AEP de secours.

A l'intérieur du périmètre tel que défini sur la Carte 17, la nappe de l'Albien et la nappe sous-jacente du Néocomien doivent être exploitées de manière à assurer impérativement leur fonction de secours pour l'AEP. Les prescriptions suivantes sont applicables aux prélèvements :

- Pour permettre une meilleure répartition des forages afin d'assurer la fonction de secours, le volume annuel prélevable dans le système aquifère de l'Albien et du Néocomien est fixé à 29 millions de m³ compte tenu des rabattements acceptables induits par une augmentation des prélèvements en routine. Ce volume est réparti par département en fonction de la population à secourir en cas de crise, à l'exception du département de la Seine Maritime pour lequel le volume est minoré pour se prémunir des risques d'invasion d'eau salée.
- L'instruction des demandes de nouveaux prélèvements par l'autorité compétente se fait en lien avec les services du préfet coordonnateur de bassin, compte tenu de la nécessité d'une coordination et d'une planification de la ressource en eau au niveau interrégional.
- Les nouveaux prélèvements ne pourront être accordés que dans la mesure où leur localisation géographique s'inscrit de manière cohérente dans les zones d'implantation préférentielle des nouveaux forages de secours telles que figurées sur la Carte 17. En cas de concurrence entre deux projets pour l'implantation d'un forage sur un secteur géographique donné, la priorité est donnée à l'AEP. S'il s'agit de projets industriels, la priorité est donnée à celui qui justifie de la nécessité d'utiliser une eau d'une telle qualité non disponible par ailleurs, à des coûts raisonnables, compte tenu des autres ressources et des technologies existantes de traitement de ces eaux et dont l'implantation satisfait au mieux la fonction de secours.

- Les nouveaux prélèvements doivent être compatibles avec les volumes maximaux fixés par département et par nouveau forage indiqués dans le tableau 8 ci-après.

- La répartition intradépartementale des nouveaux forages peut être adaptée par département lorsqu'un plan de secours permet d'atteindre les objectifs d'alimentation en eau de secours ultime de manière satisfaisante. Les plans de secours et la répartition proposée des forages sont soumis à l'avis du préfet coordonnateur de bassin.

- Le niveau des pompes des forages actuels et futurs doit être tel que l'ouvrage soit opérationnel à tout moment pour faire face à une alimentation de secours, pendant une durée de trois mois, au débit de 150 m³/h ou à défaut de pouvoir atteindre ce débit, au débit maximal exploitable connu lors des essais de pompage. Les forages actuels et futurs exploitant ces nappes doivent impérativement pouvoir être raccordés sous 24 heures aux dispositifs de distribution d'eau potable de secours ultimes quels qu'ils soient. Il est recommandé d'élaborer des plans départementaux de secours.

Ces derniers définissent au cas par cas le détail des raccordements des forages de secours aux dispositifs de distribution de crise.

- Les volumes de prélèvement autorisés sont révisés si le niveau piézométrique de référence calculé à partir des piézomètres représentatifs en Ile-de-France descend en dessous de la cote 31 m NGF.

- Les autorisations de prélèvement des forages existants ne peuvent être révisées à la hausse. En cas d'abandon d'un forage, le volume autorisé peut être reporté sur de nouveaux ouvrages implantés conformément à la carte 17.

- Le modèle de gestion des nappes de l'Albien et du Néocomien construit pour élaborer les présentes prescriptions est mis à jour régulièrement en fonction des données acquises (nouveaux forages réalisés, évolution des prélèvements et de la piézométrie notamment).

Figure 30 : SDAGE 2010-2015 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtier normands, pages 102 et 103

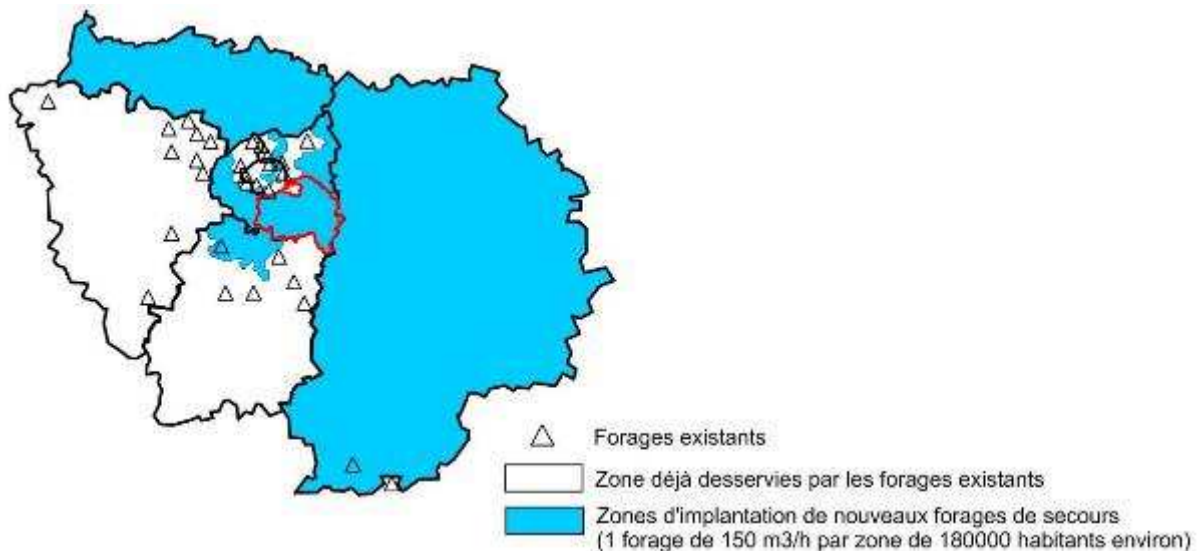


Figure 31 : Contour du SDAGE relatif à l'aquifère de l'Albien-Néocomien

4. *L'exploitation de l'eau géothermale du Dogger*

Bien que le réservoir du Dogger soit artésien dans le Val-de-Marne (pression dans le réservoir suffisante pour que l'eau jaillisse naturellement d'un forage) les besoins nominaux actuels de 250 à 350 m³/h requièrent l'utilisation d'une pompe de production immergée.

Cette dernière présente le double avantage de permettre l'augmentation du débit du puits par rapport au débit artésien et de maintenir une pression de production suffisamment élevée, pour empêcher le dégazage, qui entraîne la libération des gaz dissous, perturbant ainsi la stabilité chimique de l'eau, ce qui peut être préjudiciable aux tubages et équipements en contact (phénomènes aggravés de corrosion, dépôts).

Dans le but de maintenir la pression de l'eau dans le réservoir, il est indispensable de réinjecter l'eau géothermale dans le même aquifère. De plus, ni le rejet dans le milieu naturel en surface, ni le traitement en station d'épuration ne sont autorisés (débits élevés > 200 m³/h, et eau trop minéralisée).

Le puits d'injection doit être suffisamment éloigné afin de retarder le retour de l'eau refroidie au puits producteur. La percée thermique survient lorsque l'on observe une baisse de température au puits producteur ; actuellement, ce phénomène a été observé sans ambiguïté à Alfortville.

5. *Architecture des ouvrages au Dogger*

Afin de retarder la percée thermique au-delà de 25 ans (temps à partir duquel l'influence de la bulle froide due à la réinjection se fait sentir sur le puits producteur), il est préconisé d'espacer les puits d'au minimum 1 000 m dans le cas d'une opération au Dogger. Cette distance doit tenir compte de l'épaisseur de l'aquifère, du débit d'exploitation et des paramètres thermiques du réservoir.

Selon les besoins du réseau et les capacités du réservoir, le débit d'exploitation d'un doublet géothermique peut atteindre entre 250 et 350 m³/h. Afin de limiter les pertes de charges hydrauliques qui augmentent avec le débit, il est nécessaire d'utiliser des tubages de diamètres élevés.

Les premières opérations de géothermie utilisaient des forages de «petits» diamètre. Les puits producteur étaient équipés, en partie supérieure, d'une chambre de pompage de diamètre 10^{3/4} ou 13^{3/8} destinée à accueillir une pompe immergée, télescopés en partie inférieure sur une colonne tubée en diamètre 7". Les puits injecteurs étaient quant à eux intégralement tubés en diamètre 7".

Actuellement, les forages sont équipés de tubages 9^{5/8}. Plus coûteux à la réalisation, ils apportent un gain à l'exploitation, les pertes de charges étant réduites par rapport au tubage 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 diamètre 7" et de poursuivre l'exploitation au prix d'une augmentation des pertes de charges.

Les forages traversant les nappes d'eau potable de l'Albien et du Néocomien nécessitent une double protection au droit de ces aquifères afin de les protéger d'une pollution par intrusion d'eau géothermale.

a) Doublet conventionnel

Cette solution utilise deux forages déviés depuis la même plateforme en surface. La déviation de chaque ouvrage est comprise entre 30° et 40° environ (Cf. Figure 32).

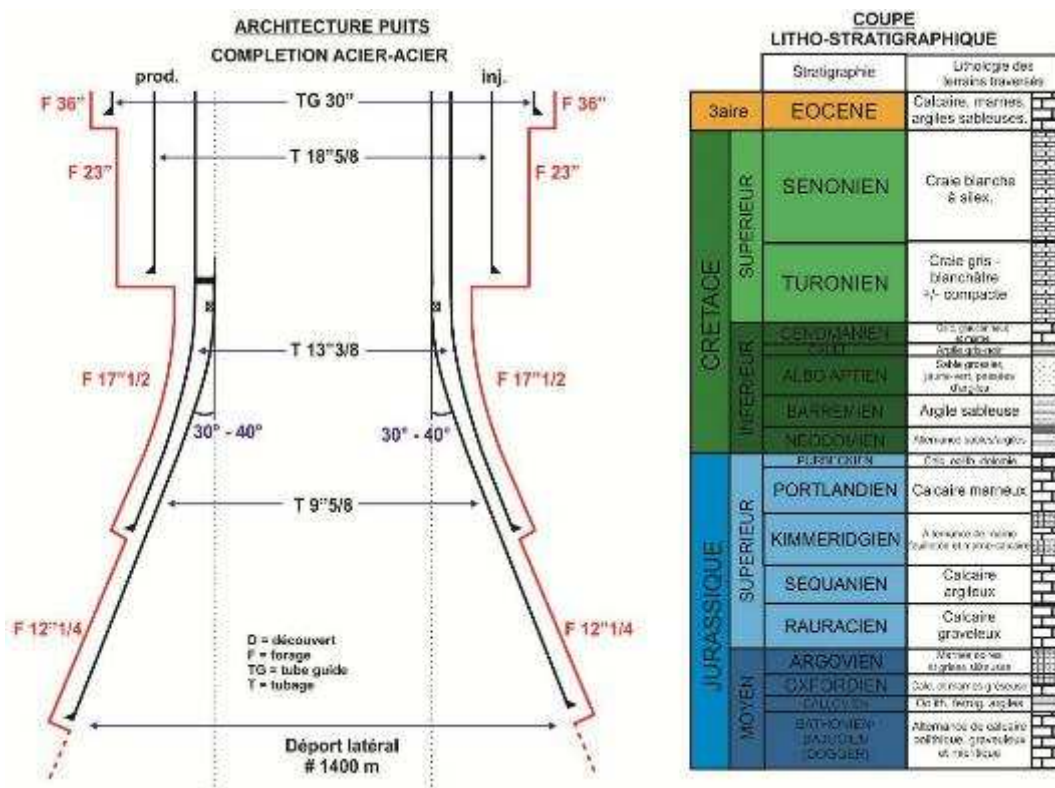


Figure 32 : Architecture des puits conventionnels

b) Doublet anticorrosion

Du fait de la corrosion, tous les puits géothermiques du Val-de-Marne ont fait l'objet d'opérations de réparation lourdes (curage, rechemisage).

Une solution technique apportée à ce phénomène est la conception d'un puits anticorrosion, constitué des éléments suivants (Cf. Figure 33) :

- tubages de soutènement acier cimentés jusqu'au toit du réservoir.
- colonne de production en matériaux composites (diamètre 9^{5/8}) libre à l'annulaire (non cimentée contrairement à un doublet conventionnel) ; la partie supérieure de la colonne qui fait office de chambre de pompage est posée en compression sur un siège/réceptacle, les dilatations induites par les variations de température étant reprises en surface au moyen d'une manchette d'expansion disposée en tête de puits ; la partie inférieure est suspendue sous son poids propre et coulisse librement le long de son axe ; la colonne est centrée par des centreurs multi-lames, également en matériaux composites.

Cette architecture offre plusieurs avantages :

- inertie à la corrosion.
- profondeur pouvant atteindre 3 000 m.
- longévité de l'ouvrage (Cf. illustration en Figure 34).
- possibilité d'enlever et remplacer la colonne composite sans reforage.
- coûts de maintenance réduits (absence d'inhibition chimique, pas de diagraphies différées d'inspection et aucune provision pour workovers sauf apparition, peu probable au demeurant, de perlage du matériau).

Ces avantages compensent largement, au regard de la durée de vie utile de l'ouvrage et des coûts de maintenance, le surcoût initial d'investissement par rapport à un ouvrage conventionnel.

L'exemple de Melun l'Almont illustre les avantages d'une telle architecture. Cette opération, conclue fin février 1995, concrétise la première application du concept de puits anticorrosion, associant tubages de soutènement acier et colonne de production/injection en matériaux composites à annulaire libre.

Cet ouvrage (puits PM4), dont le coût minier s'est élevé à 16 MF (valeur Février 1995), a été réalisé toutes opérations confondues en trente-huit jours calendaires. Il a été exploité depuis, sans aucune interruption ni intervention puits.

Les limites d'utilisation se situent, pour les produits standards, à des pressions et températures de service de 138 bars et 95°C et une inclinaison de puits n'excédant pas 40° (35° recommandé). Les matériaux utilisés sont compatibles avec l'injection d'acide chlorhydrique dilué à 15%, avec la présence de gaz (CO₂, CH₄, H₂S) libres et dissous, et de saumures concentrées. En revanche, ils excluent tout contact avec certains solvants organiques (acétone en particulier) et l'acide fluorhydrique.

PUITS TUBE ACIER/COMPOSITES COMBINED STEEL CASING/FIBER GLASS LINING WELL

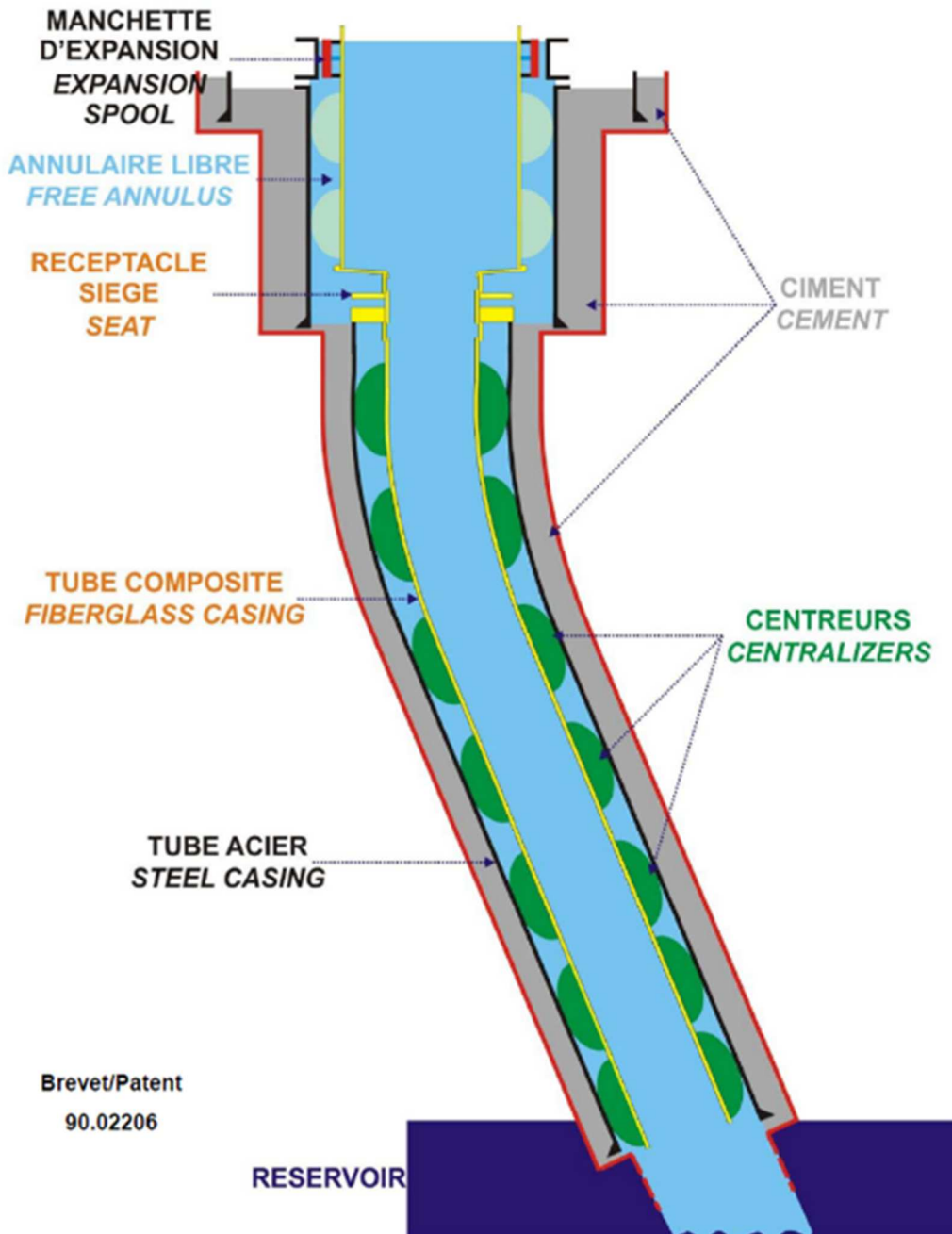


Figure 33 : Concept de puits géothermique anticorrosion (source : GPC IP)



Figure 34 : Tubes (9^{5/8}) en matériaux composites remontés au jour après 13 ans de service (puits de production GLCS1 de La Courneuve Sud) (source : GPC IP).

c) Doublets subhorizontaux

La technologie du forage horizontal a été très largement développée dans le secteur pétrolier, avec à ce jour, plus de 100 000 ouvrages réalisés dans le monde.

L'objectif du forage horizontal vise à réaliser des gains de productivité et de récupération d'hydrocarbures en place élevés vis-à-vis de complétions conventionnelles à trajectoires verticales et déviées. La technologie est particulièrement bien adaptée à des réservoirs peu épais, fracturés et des cibles éloignées de la plateforme de forage (*extreme reach*).

En ce qui concerne l'énergie géothermique, aucun forage horizontal, à notre connaissance, n'a encore vu le jour si l'on excepte une manœuvre effectuée récemment en Bavière (bassin molassique), de sortie (*side track*) en trajectoire horizontale d'un puits initialement sec, en direction d'une zone fracturée, identifiée par retraitement de sections sismiques 3D. Cette opération, non programmée au départ, s'est révélée être un succès.

Dans le cas d'un réservoir multicouches tel que le Dogger, il serait possible de réaliser des puits subhorizontaux : drain très faiblement incliné interceptant la totalité des couches perméables (Cf. Figure 35). D'après plusieurs études, les puits subhorizontaux se concrétisent par une augmentation importante de la productivité et de la durée de vie thermique des ouvrages, tout particulièrement adaptée aux réservoirs stratifiés multicouches, aux zones peu perméables ou aux secteurs à forte densité de doublets géothermiques. Le réservoir du Dogger du Bassin Parisien dans le Val-de-Marne constitue à cet égard un excellent prototype.

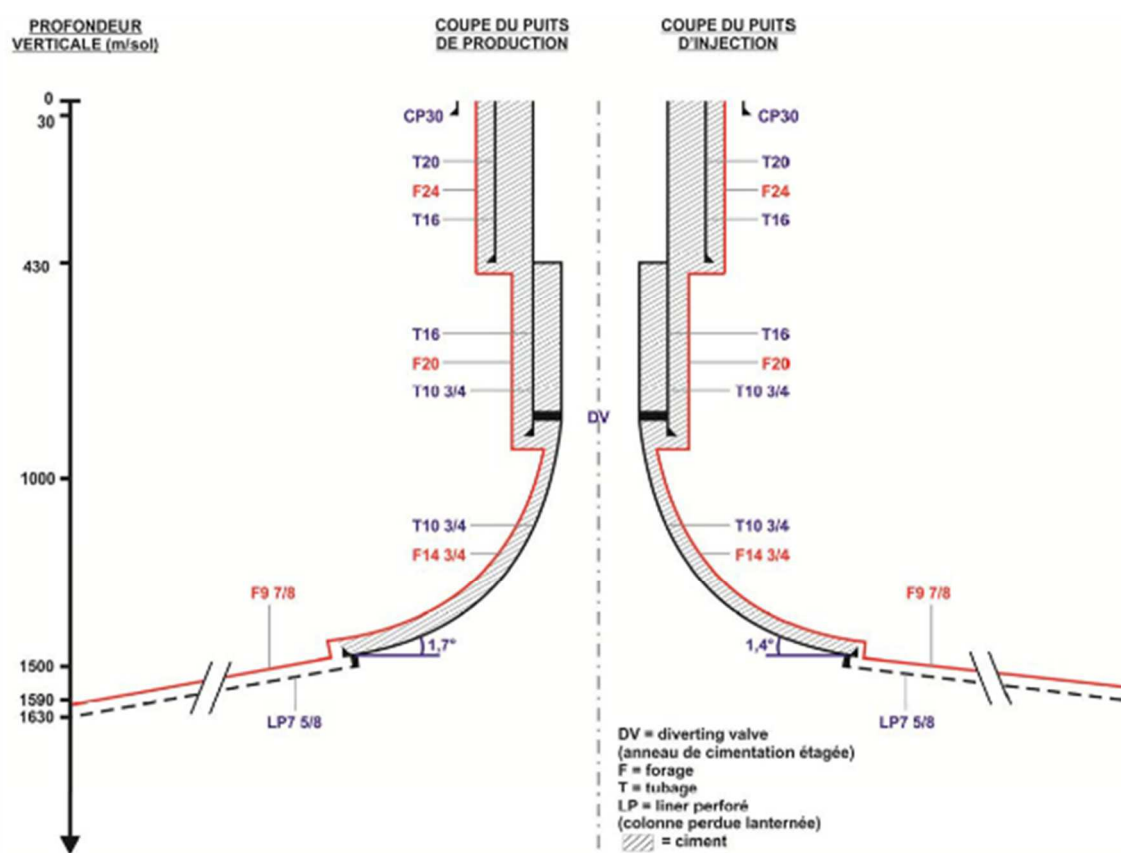


Figure 35 : Architecture doublets subhorizontaux

d) Traitement inhibiteur de corrosion/dépôts

La nature agressive de l'eau a entraîné par le passé des phénomènes aggravés de corrosion de l'acier des tubages et de dépôts de sulfures de fer. Un dispositif de traitement de l'eau a ensuite été mis en place afin de ralentir la cinétique de ces phénomènes. Ce dispositif consiste en un tube de traitement de petit diamètre descendu dans le puits producteur jusqu'au sabot des tubages et injectant en continu un produit inhibiteur.

Le suivi de la corrosion sur les doublets est réalisé au moyen de coupons témoins immergés dans le fluide géothermal et dont la pesée différentielle (avant et après séjour dans l'eau géothermale) tous les 3 mois permet une estimation de la vitesse moyenne de corrosion des tubages sur la durée considérée.

e) Diagraphie de contrôle

Les diagraphies différées sont réalisées sous une périodicité triennale pour le puits injecteur étendue à cinq ans, si nécessaire, pour le puits producteur. Ces inspections consistent à mesurer les valeurs minimales et maximales du rayon intérieur du tubage en vue d'effectuer un bilan de matière corrosion/dépôts et d'estimer la cinétique corrosive et/ou dépositionnelle.

6. Les facteurs limitant la durée de vie d'une opération de géothermie

Deux facteurs limitent la durée de vie d'une exploitation de géothermie:

- les phénomènes de corrosion/dépôts,
- la percée thermique.

Finalement, la durée de vie des opérations géothermiques réalisée au Dogger dans les années 1980 est limitée par le vieillissement des puits plutôt que par la percée thermique.

Le premier facteur est désormais bien contrôlé grâce aux efforts déployés dans les années 1990. Le tableau suivant rappelle les moyens préventifs et curatifs de ces phénomènes.

Phénomènes de corrosion-dépôts	Impact sur l'exploitation	Mesure curative	Mesures préventives
Dépôts sur les tubages	Baisse de productivité	Curage	Traitement par inhibiteur de corrosion
Corrosion des tubages	Percement	Rechemisage	Exploitation non artésienne (évite le dégazage)
Dégradation des pompes	Arrêt	Remplacement	Bonne maintenance et suivi (analyses géochimiques, diagraphies de contrôle...)
Rupture des colonnes de production	Chute de pompe	Repêchage	

Tableau 7 : Moyens de préventifs et curatifs des phénomènes de corrosion/dépôts

L'autre facteur vient du fait que l'eau froide réinjectée au droit du puits injecteur, même si elle est réchauffée au contact de la roche, finit par produire un refroidissement au puits de production. Ce paramètre est intégré dans le dimensionnement d'un doublet, sur la base de modélisations hydrodynamiques et thermiques.

Initialement, lors de la réalisation de ces ouvrages, les modélisations étaient pessimistes, car elles sous-estimaient le rôle des épontes (couches non productrices du réservoir) : la percée était prévue à 15 ans. Or le seul doublet montrant une percée thermique aujourd'hui, soit 20 ans après, est celui d'Alfortville, qui présente la distance entre les puits (au toit du Dogger) la plus faible de toutes. En effet, depuis sa mise en exploitation en 1987, la température au puits de production a baissé de 3°C.

C. *Autres sources énergétiques envisageables*

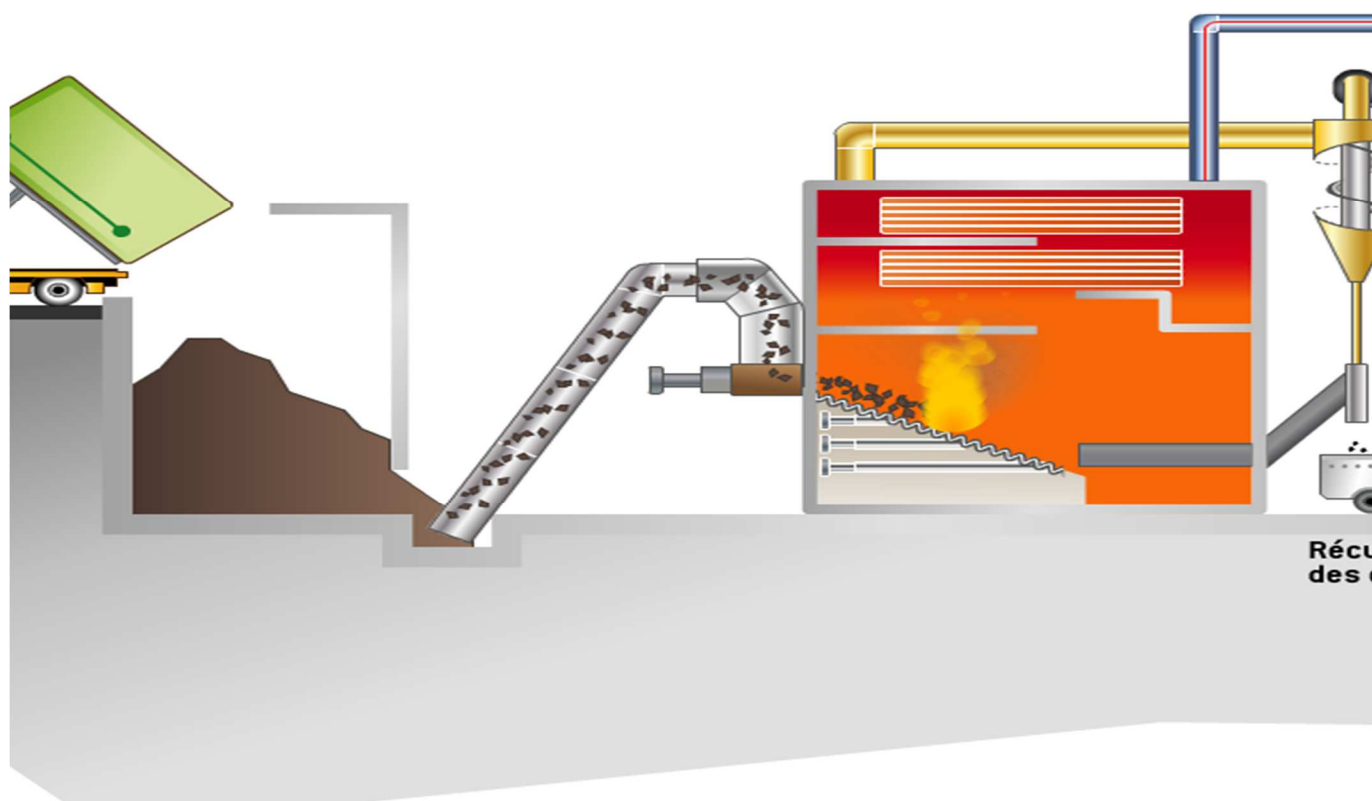
1. *Bois-énergie*

Le bois-énergie utilise la biomasse comme combustible. Cette énergie est considérée comme une énergie renouvelable à condition que les forêts bénéficient d'une gestion durable.

Les agglomérations étant souvent denses pour y installer des chaufferies de petites ou moyennes tailles, la génération d'énergie par le bois-énergie redevenant d'actualité doit alors être intégrée à des réseaux de chaleur.

a) *Principe de fonctionnement d'une chaufferie réseau bois*

L'intégration du bois-énergie se fait actuellement sur des réseaux de chaleur dont la puissance se situe entre 1 et 8 MW. Le principe de fonctionnement est simple mais impose des contraintes pour la livraison/stockage, pour le contrôle des émissions, pour le traitement des fumées ainsi que sur la récupération des cendres.



Une fois livré, le combustible est inséré dans le foyer et subit alors différentes transformations lors du passage à travers les deux types d'échangeurs (radiatif et convectif) :

- L'eau contenue dans le combustible s'évapore grâce à la chaleur du foyer

- Une fois l'eau évaporée, ce sont les gaz combustibles volatils qui sont libérés par pyrolyse. Cette partie sera ensuite brûlée en phase gazeuse.
- La fraction solide restante (résidus charbonneux) brûle vers l'aval du foyer, il ne reste alors plus que des cendres.
- Un traitement des fumées s'effectue ensuite par un dépoussiéreur multicyclones⁵, un filtre à manches s'occupe alors des poussières restantes les plus fines.

Pour les chaufferies du Bois-énergie, il est nécessaire de disposer d'un grand espace disponible important afin d'installer un silo de stockage permettant d'assurer la continuité de la fourniture de chaleur en cas de ralentissement de l'approvisionnement (sur un week-end par exemple).

b) Les combustibles utilisés pour le chauffage au bois

On distingue, selon les technologies et l'utilisation que l'on veut en faire, différents combustibles pour le chauffage au bois. Voici les différents types de biomasse :

- Les produits connexes issus des industries du bois : sciures, copeaux, plaquettes et broyats, dosses, chutes de tronçonnage, éléments de charpentes...etc.
- Les produits en fin de vie : palettes ou autres éléments de bois. Ces éléments sont majoritairement issus de la grande distribution, d'industries, de déchetteries ou encore de plateformes de construction.

Sur les produits ci-dessus, certains peuvent contenir des adjuvants ou traitements dans une certaine proportion (panneaux mélaminés, panneaux de process bruts). L'utilisation de ces biomasses est donc contrôlée par la DRIEE.

- Les plaquettes forestières : obtenues à partir du broyage/déchetage de végétaux ligneux sur des peuplements n'ayant subi aucune transformation.

Les paramètres jouant sur l'efficacité de ces combustibles sont l'humidité, le PCI, la granulométrie, les taux des différents composés (azote, soufre, chlore, potassium), le taux de cendres ainsi que la température de fusion de ces cendres.

c) Développement de la filière bois

Afin de maintenir un développement pérenne de la filière bois, il est primordial de bien gérer les ressources ainsi que les résidus.

▪ Approvisionnement du bois

Le « Plan Bois-Energie et Développement Local » initié par l'ADEME et inscrit dans le cadre du Contrat de Plan Etat-ADEME sur la période 2000-2006 a cet objectif d'accentuer le développement de

⁵ Pour les installations d'une puissance < 2 MW, les rejets de poussières doivent être au maximum de 90 mg/Nm³ (60 mg/Nm³ à 11% d'O₂). Pour les installations d'une puissance > 2 MW, les rejets de poussières doivent être au maximum de 15 mg/Nm³ (10 mg/Nm³ à 11% d'O₂).

chaufferies bois et de structurer de véritables filières locales d'approvisionnement en combustibles. C'est la raison pour laquelle l'approvisionnement en bois doit s'effectuer via une bonne gestion des forêts.

- Revalorisation des cendres

Les cendres biomasses (composées de compost et de lisier) peuvent être épandues sur des surfaces agricoles en tant qu'amendement ou fertilisant. En complément de l'épandage, l'utilisation de ces cendres comme apport de chaux, phosphore et potassium pour la fabrication d'engrais peut être envisagée.

d) Avantages des chaufferies bois

Les chaufferies bois permettant de convertir facilement une production locale à un réseau de chaleur existant, sous réserve de l'espace nécessaire, dans des agglomérations encore peu densifiées et proches de la ressource forestière. De plus, cette filière permet d'intégrer facilement une énergie renouvelable aux réseaux de vapeur et aux réseaux en eau surchauffée.

Elle permet aussi une revalorisation des résidus cendreux issus de la combustion et même dans certains cas une revalorisation des fumées. Ce qui permet un développement de l'économie locale avec l'apparition de nouveaux emplois.

2. Usines d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM)

Les UIOM présentent un intérêt certain, et surtout dans le contexte actuel, où la région Ile-de-France a adopté le plan PREDMA⁶ définissant les moyens à mettre en œuvre, avec objectifs chiffrés, pour la gestion territoriale des déchets. L'énergie issue des UIOM encore définie comme une énergie de récupération. Un incinérateur est un dispositif voué à détruire une masse de déchets par combustion aussi complète que possible.

L'avantage principal de ce système est la valorisation de cette masse de déchets à la fois pour produire de la chaleur mais aussi de l'électricité.

a) Principe de fonctionnement d'une UIOM

L'installation nécessite d'être amorcée par une énergie fossile (gaz ou fioul) puis est maintenue en température grâce à la combustion des déchets. L'utilisation d'énergie fossile n'est donc nécessaire que pour :

- La montée en température jusqu'à 850°C (conditions d'incinération)
- Le maintien des conditions d'incinération si l'alimentation en déchets s'avère trop faible, mais très peu de cas en France

⁶ PREDMA : Plan Régional d'Élimination des Déchets Ménagers et Assimilés.

- L'arrêt du four et descente en température (progressif)

Le dispositif est composé de trois unités principales :

- Un hall où sont réceptionnés et homogénéisés les déchets en continu, qui sont ensuite transportés vers le four à l'aide d'un grappin
- Un four, fonctionnant en régime continu, utilisant le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des déchets pour les brûler et disposant d'un brûleur à gaz ou fioul
- Un récupérateur de chaleur vers un fluide caloporteur

On retrouve en permanence des résidus imbrûlés tels que les mâchefers⁷ triés ensuite par aimantation ou encore les REFION⁸ qui sont des résidus issus du traitement et du lavage des fumées rendus inertes (peut être fait par vitrification par exemple).

Le traitement des fumées et vapeurs s'effectue via des analyseurs de particules et de composés toxiques (NOx, SOx, CO...etc.) présents en amont et ensuite par des filtres.

La chaleur de ces fumées est ensuite transférée vers un fluide caloporteur (le plus souvent de l'eau). Elle est ensuite valorisée soit :

- Par cogénération avec de la vapeur (production d'électricité + fourniture de chaleur)
- Par fourniture de chaleur seule

b) Matériaux utilisés pour l'incinération

Les ordures ménagères se définissent de la manière suivante : « *tous déchets issus de l'activité quotidienne des ménages (déchets d'emballages, restes alimentaires, objets en fin de vie...)* ».

c) Avantages des UIOM

La valorisation des déchets entraîne une économie significative de combustibles fossiles, elle permet par la vente de ces énergies de réduire le prix du traitement urbain des déchets ainsi que de réduire significativement leur place occupée sur l'espace (réduction de 90% du volume et de 70% de la masse). De plus, les résidus solides tels que les mâchefers sont réutilisés à 80% pour la construction des routes.

L'incinération présente toutefois une contrainte, l'apparition de PoP⁹ à haute température (850 °C),

⁷ Mâchefers : Métaux lourds issus de la combustion des déchets, imbrûlés.

⁸ REFION : Résidus d'Épuration des Fumées d'Incinération des Ordures Ménagères

⁹ PoP : Pollutions Organiques Persistantes : composés dangereux pour la santé présentant des difficultés à être éliminé (dioxines, furanes...etc.).

d) Perspectives pour la filière UIOM

En 2010, l'Île-de-France a produit à elle seule 42% (3 290 GWh) de l'énergie thermique et 20% (909 GWh) de l'énergie électrique produite à partir des déchets en France¹⁰.

Le rapport du COMOP 10¹¹, intitulé "Plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale", propose pour la France des objectifs en 2020 de 116 TWh et 83 TWh supplémentaires, respectivement pour les productions de chaleur et d'électricité.

Cependant, il est à noter que les UIOM sont le plus souvent excentrées des zones résidentielles, ce qui peut freiner l'utilisation de la chaleur produite.

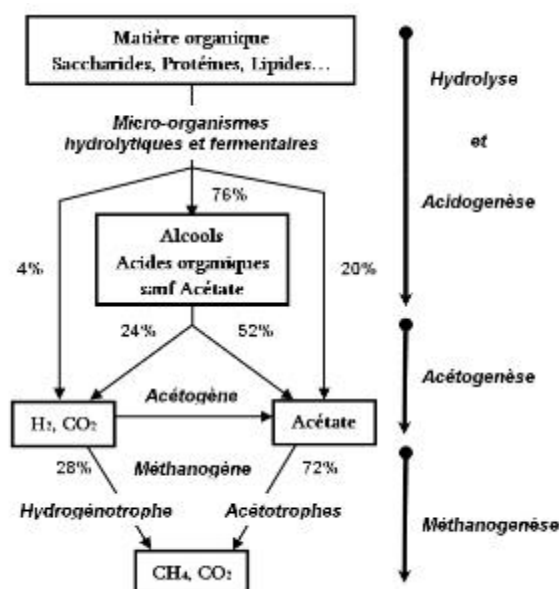
L'incinération des ordures ménagères est le stade ultime de valorisation énergétique des déchets. Une filière tend à se développer en amont de l'incinération, il s'agit de la méthanisation qui vise à récupérer la part du biogaz contenue dans les déchets avant leur incinération et/ou enfouissement.

3. Méthanisation

La méthanisation consiste en la digestion anaérobie¹² des matières organiques par des micro-organismes. C'est une réaction biologique qui se produit naturellement dans certains sédiments, marais ou rivières. Elle peut alors être reproduite artificiellement dans des usines de méthanisation.

a) Principe de fonctionnement d'une usine de méthanisation

Le procédé utilisé dans les usines de méthanisation se résume en trois étapes principales : l'hydrolyse + l'acidogénèse, l'acétogénèse et enfin la méthanogénèse.



¹⁰ Chiffres de l'ORDIF (Observatoire Régional des Déchets d'Île-de-France).

¹¹ Comité opérationnelle n°10 du Grenelle de l'Environnement.

¹² Anaérobie : Milieu dépourvu d'oxygène.

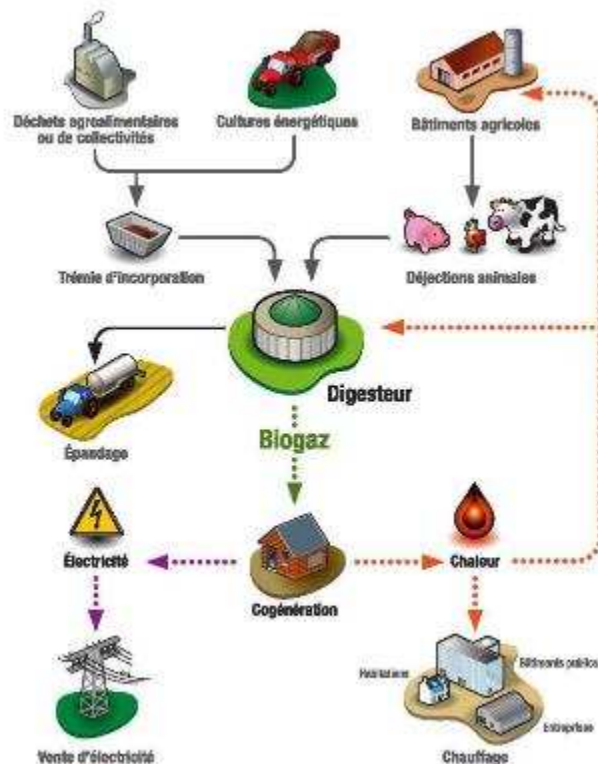
Ce procédé consiste juste en une succession de dégradations faisant intervenir pour chaque des micro-organismes bien spécifiques. Contrairement au compostage, ce procédé est totalement dépourvu d'apport en oxygène.

On obtient en sortie un biogaz généralement composé à 60% de CH₄, 30% de CO₂ et 10% d'un ensemble de gaz (H₂O, N₂, H₂, O₂ et H₂S) qui pourra être revalorisé en chaleur (80%) et électricité (20%).

b) Avantages de la méthanisation

Ce procédé présente de nombreux avantages et notamment :

- La réduction des odeurs et de la charge pathogène du fumier
- La réduction des émissions de GES par les fermes
- L'utilisation de sous-produits de l'industrie alimentaire de source non agricole
- L'amélioration de la valeur fertilisante du fumier
- La production de chaleur et d'électricité par cogénération
- La réutilisation de la fraction fermentescible des déchets ménagers



Ce procédé est présente l'avantage d'être adaptable à des déchets liquides (effluents d'élevage, boues de STEP) ainsi qu'à des déchets solides (déchets alimentaires, emballages, textiles, déchets verts, déjections animales...etc.).

Enfin, l'injection du biométhane dans les réseaux de gaz naturel est désormais autorisée par les pouvoirs publics.

c) Perspectives de développement des usines de méthanisation

En France, la filière biogaz est encore faible puisqu'en 2010 la production annuelle s'élevait à seulement 7 TWh. Cependant, les objectifs définis dans « le plan national d'action en faveur des énergies renouvelables » prévoient de multiplier par 7 la production de chaleur et par 5 la production d'électricité issue de la méthanisation.

L'Etat a d'ailleurs mis en place des bonus intéressants allant dans le sens du développement de la filière :

▪ Chaleur

Suite à l'autorisation d'injection de biogaz dans les réseaux, l'arrêté du 24 novembre 2011 fixe les tarifs de rachats du biogaz. Les tarifs sont alors dégressifs de manière à favoriser économiquement les installations plus modestes.

▪ Electricité

L'arrêté du 19 mai 2011 réévalue le tarif d'achat de base de l'électricité de près de 12% par rapport au tarif précédent. Les plus petites installations bénéficient d'ailleurs d'un tarif plus attractif. De plus, deux primes peuvent venir d'ajouter à ce tarif de rachat de base :

- Prime pour le traitement des effluents (variant selon les puissances installées)
- Prime pour l'efficacité énergétique (calculée en fonction du rendement de l'installation)

4. Solaire Thermique

A l'heure actuelle, des réseaux de chaleur utilisant comme ressource principale la chaleur du Soleil commencent à émerger en France.

a) Présentation des réseaux de chaleur solaires

Les réseaux de chaleur solaires sont des installations thermiques de grande taille et permettent de fournir de la chaleur à des logements avec un coût environnemental très diminué. Ce système est déjà bien développé en Allemagne, mais aussi en Autriche, au Danemark ainsi qu'en Suède. Des projets sont actuellement en cours de réalisation en France, du côté de Toulouse et de Narbonne.

b) Principe de fonctionnement des réseaux de chaleur solaires

Le solaire sur les réseaux de chaleur peut être soit centralisé par l'utilisation d'une ferme solaire, soit décentralisé en effacement de l'eau chaude sanitaire sur les réseaux. Dans le 1^{er} cas, les panneaux sont directement installés près de la chaufferie principale (Cf. Figure 36). Dans le 2nd cas, les capteurs

peuvent être installés plus loin, dans une zone propice (en toiture en général) ; une partie de l'énergie solaire est alors autoconsommée sur place et le reste est potentiellement réinjectable directement dans le réseau (Cf. Figure 37).

Par exemple, en Allemagne, des capteurs solaires thermiques intégrés à la toiture combinés à un stockage inter-saisonnier permettent de couvrir 50% des besoins en chaleur à de nombreux quartiers résidentiels.

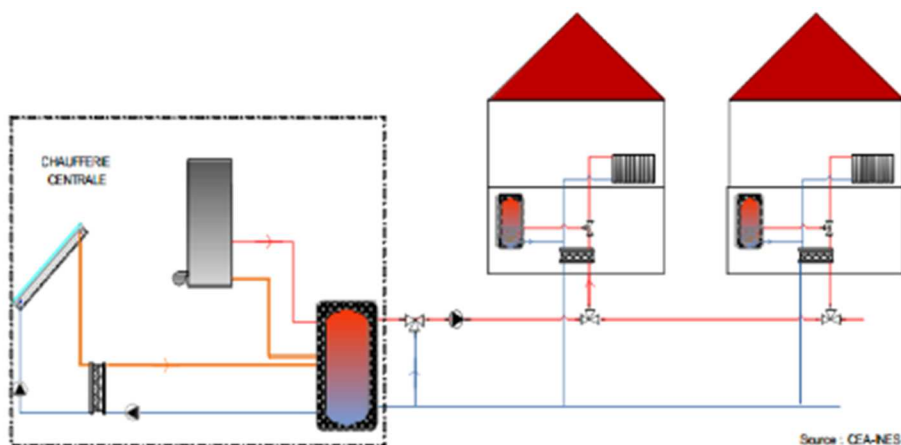


Figure 36 : Réseau de chaleur solaire avec production centralisée - Source : CEA-INES

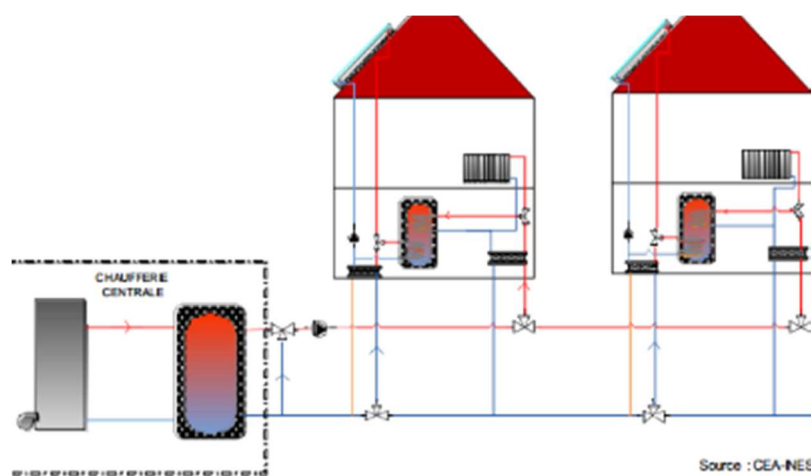


Figure 37 : Réseau de chaleur solaire avec production décentralisée - Source : CEA-INES

c) Avantages des réseaux de chaleur solaire

L'avantage de cette solution est que l'on peut greffer une centrale solaire à un réseau de chaleur déjà en exploitation, ce qui modifie son mix énergétique et le rend plus respectueux de l'environnement.

Ce système émet très peu de GES durant sa production de chaleur, ceci a comme conséquence pour les bâtiments d'augmenter l'exigence maximale sur les consommations énergétiques finales (CEP)¹³.

Toutefois, cette solution n'est pas à envisager sur des réseaux utilisant déjà la géothermie comme énergie principale. En effet, l'autoconsommation de la chaleur produite par ces équipements en période estivale est de nature à réduire les quantités d'eau extraites des puits, dégradant ainsi les performances techniques et économiques de la géothermie.

¹³ Cf. 1.B Réglementation Thermique de 2012

5. Récupération de chaleur

Il existe à l'heure actuelle deux branches de la filière « récupération de chaleur » : la récupération sur les eaux usées et sur les Data Centers.

a) Eaux usées

Présentation de la récupération de chaleur sur les eaux usées

Les eaux usées sont des eaux polluées constituées de toutes les eaux susceptibles de contaminer un milieu dans lequel elles seraient déversées ; elles sont issues de l'utilisation anthropique (artisanale, agricole, industrielle...etc.).

On parle d'eaux « grises » pour des eaux peu polluées d'origine domestiques résultant de douches, de lavage de mains ou de vaisselles. On parle alors d'eaux « noires » lorsque les matières qu'elles contiennent sont des substances plus polluantes telles que des matières fécales, des produits toxiques ou encore des produits cosmétiques.

On parle aussi d'eaux usées pour des eaux pluviales souillées par l'environnement auquel elles sont affectées (exemple : eaux usées par les hydrocarbures sur un parc de stationnement).

Principe de fonctionnement de la récupération de chaleur par les eaux usées

L'installation d'un échangeur de chaleur sur les canalisations où circulent les eaux usées est nécessaire. Cet échangeur est enroulé autour de la canalisation de manière très serrée. L'énergie thermique est alors transférée au fluide caloporteur présent dans le serpentin de la même manière qu'un échangeur classique.

Ce système de récupération de la chaleur des eaux usées permettrait de réduire jusqu'à 40% les coûts liés à la production d'ECS.

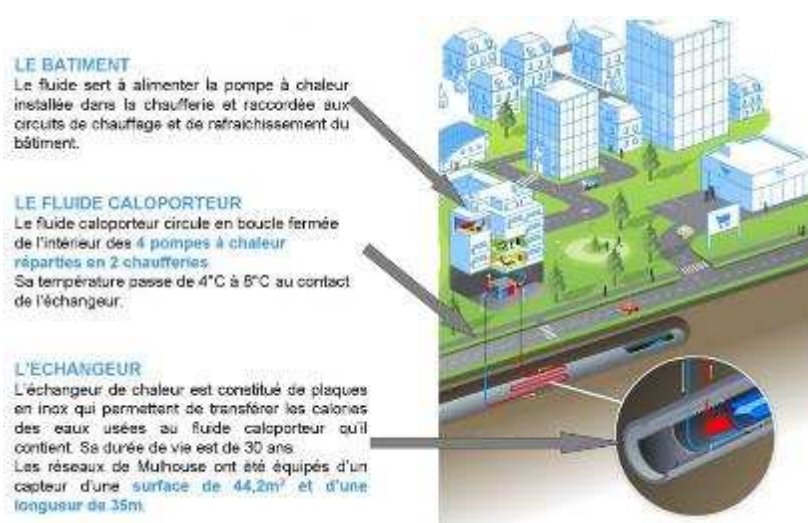


Figure 38 : Technologie "Degrés Bleus"

Avantages de la récupération de chaleur des eaux usées

Ce type de récupération de chaleur est l'un des rares moyens de générer de la chaleur de manière renouvelable directement en milieu urbain. Toutefois, la puissance de ces équipements reste limitée, quelques centaines de kW, est de nature à être développée pour de nouveaux quartiers. L'installation de ces systèmes n'influe en rien sur le traitement de ces eaux effectué en aval.

Pour un avoir un retour sur investissement, il est préférable de l'installer à proximité d'un gros complexe (hôpital, école) afin de récupérer le maximum d'énergie car le coût d'investissement à la base peut être assez important.

Perspectives de développement de la récupération de chaleur des eaux usées

Ce système semble destiné à se développer pour de nouveaux quartiers, situés à proximité de canalisation d'eaux usées, et dont la taille ne permettrait pas le recours à une autre énergie renouvelable.

b) Data Center

Présentation de la récupération de chaleur sur les Data Centers

Ces bâtiments sont des gros consommateurs d'énergie puisqu'approximativement 2,5 kW/m² sont nécessaires à leur bon fonctionnement. A titre d'équivalence, un Data Center aussi grand qu'un terrain de football mais consomme autant d'électricité qu'une ville de 60 000 habitants.

Principe de fonctionnement de la récupération de chaleur sur des Data Center

Le Data Center, nécessite d'être refroidi en permanence via des groupes froids. Habituellement gaspillée, la chaleur dégagée est évacuée sous forme d'air chaud et peut être récupérée en la faisant passer dans un échangeur.

On peut alors alimenter en chauffage des logements environnant grâce à une eau proche de 55° C en sortie d'échangeur.

Avantages de la récupération de chaleur sur des Data Center

L'énergie récupérée par ce processus était autrefois rejetée dans l'atmosphère, il n'y a donc pas de dépenses supplémentaires puisque cette énergie est déjà utilisée pour faire fonctionner ces appareils actuellement. De plus, les Data Center connaissent de faible variation de charge, ce qui pourrait apporter une énergie constante aux réseaux toute l'année.

Perspectives pour la récupération de chaleur sur des Data Center

On sait avec certitude que la quantité de données transmises par les systèmes informatiques dans le futur augmente de plus en plus rapidement, il y aura donc automatiquement la création de nouveaux Data Center dans les mêmes proportions et donc plus d'énergie à récupérer.

D. Convertibilité d'un réseau de chaleur à des énergies renouvelables et/ou de récupération

Il existe trois grands types de réseaux de chaleur :

- Alimentés en vapeur (entre 200 et 300°C)
- Eau surchauffée (entre 110 et 180 °C)
- Eau chaude ou « Basse Température » (inférieurs à 110°C)

1. Les réseaux alimentés en vapeur

Ces réseaux sont rares, l'exemple le plus connu étant le réseau de chaleur de Paris (CPCU). Pour ces derniers, l'intégration d'EnR&R n'est possible que de façon :

- Centralisée avec une EnR&R pouvant produire de la vapeur (bois-énergie, récupération de chaleur sur les UIOM ou biométhane)
- Décentralisée avec la création d'une boucle d'eau chaude à basse température majoritairement alimentée par l'EnR&R et complétée (voire secourue) par le réseau vapeur.

Cette dernière technique permet notamment à la CPCU de proposer de la chaleur géothermale pour l'ensemble de la ZAC de Paris Nord-Est.

2. Les réseaux de chaleur alimentée 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 180 °C au départ de la centrale et de 110 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 et du Trias. 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. Cette opération est actuellement en cours de réalisation

sur le réseau de Neuilly-sur-Marne (déclassement du réseau « eau surchauffée » en « basse température » pour un passage ultérieur à la géothermie.

3. 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 110°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 ».

Leur conversion à une autre ENR&R (récupération d'énergie fatale solaire) semble également favorable.

a) Cas des réseaux sans cogénération

Le cas est, a priori, très favorable pour l'adaptabilité à la géothermie et/ou aux énergies renouvelables. L'opération devrait présenter une faisabilité intéressante de recours aux ENR&R et notamment la géothermie pour une taille de plus de 6 000 logements existants (valeur variable selon les conditions technico-économiques du projet).

b) 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 ou les énergies renouvelables ne sont donc utilisées 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

2. Bilan des réseaux de chaleur du Val-de-Marne

La présente étude a pour ambition de réaliser un schéma directeur des réseaux de chaleur du Val-de-Marne. A ce titre, seuls les réseaux ayant la plupart de leur moyen de production, distribution et livraison sur le territoire val-de-marnais ont été étudiés.

Bien que répondant partiellement aux conditions ci-énoncées, le réseau de la CPCU n'entre pas dans le scope de l'étude. Toutefois, de par son importance (fourniture à 100% du réseau de Choisy/Vitry-sur-Seine, présence de moyens de production à Ivry-sur-Seine et au Kremlin-Bicêtre), le réseau de CPCU sera ponctuellement associé aux résultats et conclusions de l'étude.

A. Emplacement des réseaux de chaleur dans le Val-de-Marne

La carte de la page ci-après présente l'implantation de tous les réseaux de chaleur actuellement présents en Val-de-Marne.

Le territoire présente une importante concentration de réseaux de chaleur dans sa partie Ouest et une quasi absence de cet équipement en partie Est, à l'exception des communes de Fontenay-sous-Bois, Champigny-sur-Marne et Sucy-en-Brie.

Il existe actuellement 17 réseaux de chaleur dans le Val-de-Marne, leur emplacement est donné par la carte sur la page suivante.

Sur ces 17 réseaux, 13 sont des réseaux géothermiques (c'est-à-dire qui utilisent l'énergie géothermale) et 4 ne le sont pas, utilisant d'autres énergies.



Figure 39 : Implantation de tous les réseaux de chaleur du Val-de-Marne en 2013

B. Bilan technique

1. Emprise sous-sol des réseaux géothermiques

Dans le Val de Marne, 16 opérations de géothermie au Dogger ont vu le jour dans les années 1980.

Parmi celles-ci :

- 2 ont été arrêtées (Orly 1 Gazier et Orly 2 le Nouvelet),
- 5 ont fait l'objet d'une réhabilitation récente ou en cours (Maisons-Alfort 2, Thiais, Sucy-en-Brie, Bonneuil-sur-Marne, Champigny-sur-Marne),
- 8 font l'objet de perspectives de réhabilitation (Alfortville, Cachan 1 et 2, Chevilly-Larue, Créteil Mont Mesly, L'Hay-les-Roses, Maisons-Alfort 1 et Villeneuve-Saint-Georges),
- 1 fait l'objet d'un passage en triplet prévu (Fresnes).

2 opérations ont été récemment mises en exploitation: Orly 2 Le Nouvelet 2, en 2008, et Orly ADP, en 2011.

Enfin, 6 projets de nouvelles opérations sont à l'étude actuellement, à des stades d'avancement divers : Arcueil-Gentilly, Bagneux, Cachan 3, Ivry-sur-Seine, Villejuif et Vitry-sur-Seine.

L'état de ces opérations est synthétisé dans le Tableau 8, et les gélules d'exploitation correspondantes sont présentées en Figure 40.

Nom de l'opération	Nom injecteur	Nom producteur	Mise en service	Etat
ALFORTVILLE	GAL1	GAL2	Octobre 1987	Perspectives de réhabilitation
ARCUEIL GENTILLY	GARC2	GARC1	Juillet 2015	En projet
BONNEUIL SUR MARNE	GBL3	GBL1	Janvier 1987	Réhabilitation récente
CACHAN 1	GCA1	GCA3	Octobre 1985	Nouveau doublet prévu
CACHAN 2	GCA2	GCA4	Décembre 1985	Nouveau doublet prévu
CACHAN 3 nouveau doublet	GCA6	GCA5	Janvier 2015	En projet
CACHAN 3 triplet	GCA1&GCA2	GCA7	Janvier 2020	En projet
CHAMPIGNY SUR MARNE	GCHM2&GCHM1	GCHM3	1985	Réhabilitation en cours
CHEVILLY-LARUE	GCHL1	GCHL2	Octobre 1985	Perspectives de réhabilitation avant 2015
CRETEIL MONT MESLY	GCRT2	GCRT1	Octobre 1985	Perspectives de réhabilitation avant 2015
FRENES triplet	GFR1 & GFR2	GFR3	Juillet 2013	En projet
FRESNES	GFR1	GFR2	Janvier 1987	Passage en triplet prévu
IVRY-SUR-SEINE	GIV2	GIV1	Janvier 1984	Arrêt
IVRY-SUR-SEINE nouveau doublet	GIV3	GIV4	Janvier 2015	En projet
L'HAY-LES-ROSES	GHLR1	GHLR2	Octobre 1985	Perspectives de réhabilitation avant 2015
MAISONS-ALFORT 1	GMA2	GMA1	Juillet 1985	Perspectives de réhabilitation avant 2015
MAISONS-ALFORT 2	GMA4	GMA3	Octobre 1986	Réhabilitation récente
ORLY 2 LE NOUVELET	GORY4	GORY3	Janvier 1987	Arrêt en janvier 2008
ORLY 2 LE NOUVELET2	GORY5	GORY6A	Janvier 2008	Opération récente
ORLY1 GAZIER	GORY1	GORY2	Janvier 1984	Arrêt en janvier 2012
ORLY-ADP	GADP2	GADP1	Mars 2011	Opération récente
SUCY EN BRIE triplet	GSUC2&GSUC1	GSUC3	Octobre 1984	Réhabilitation récente
THIAIS	GTHI2	GTHI1	Juillet 1986	Réhabilitation récente
VILLEJUIF	GVIL1	GVIL2	Décembre 2014	En projet
VILLENEUVE-SAINT-GEORGES	GVSG2	GVSG1	Octobre 1987	Perspectives de réhabilitation avant 2015
VITRY-SUR-SEINE	GVIT2	GVIT1	Juillet 2015	En projet

Tableau 8 : Etat des lieux des opérations de géothermie au Dogger dans le Val-de-Marne

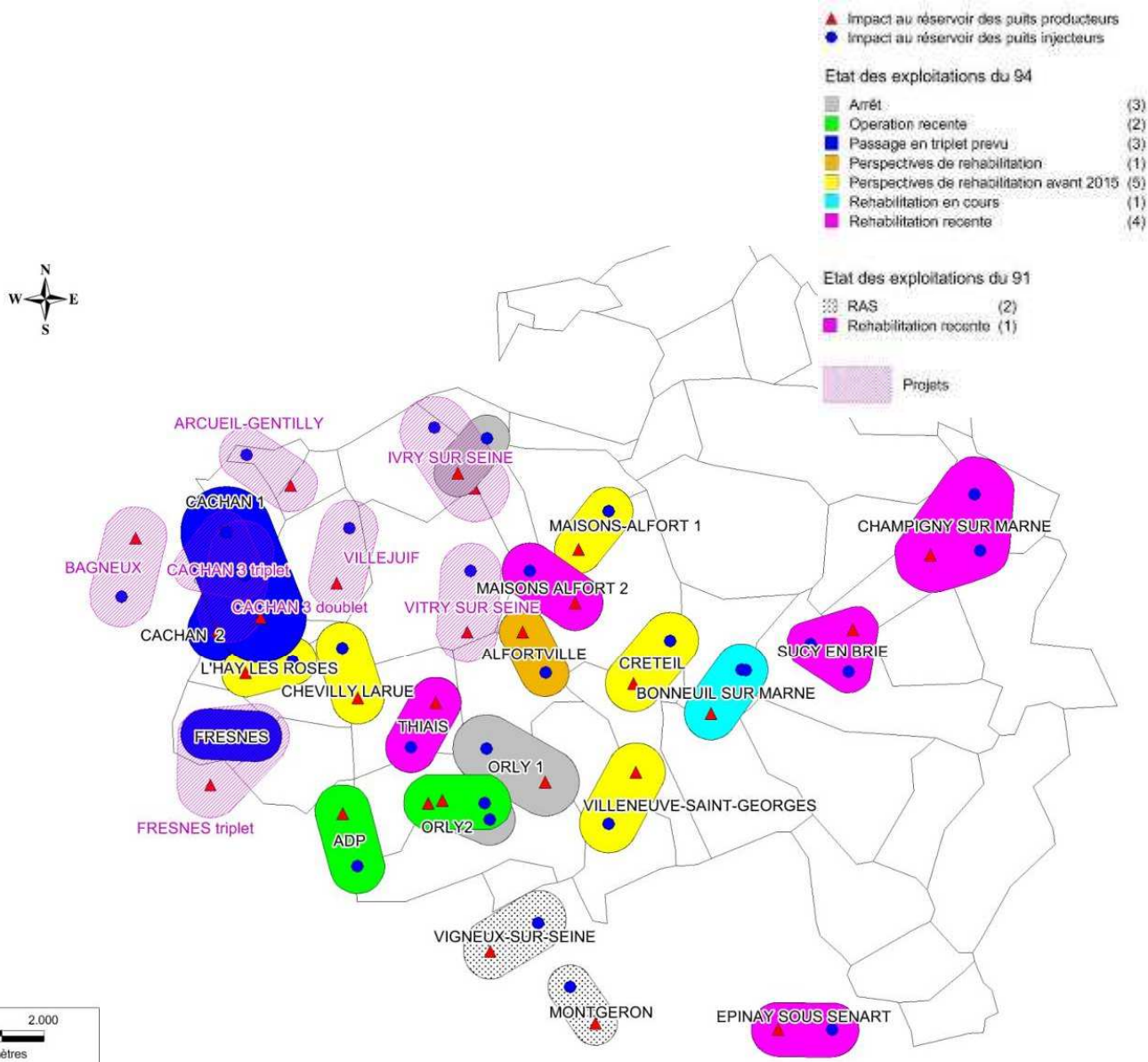


Figure 40 : Etat des lieux sous-sol des opérations de géothermie au Dogger dans le Val-de-Marne

2. Bilan Technique des forages

Le bilan technique des forages est présenté dans les deux tableaux suivants. Il précise :

- les données d'exploitation des installations
- l'état actuel de l'exploitation
- l'historique des réparations

IDENTIFICATION						RESPONSABLE TECHNIQUE			HISTORIQUE		DONNEES D'EXPLOITATION						ETAT	PERSPECTIVES D'EVOLUTION DU DOUBLET
Nom Opération	Nom Injecteur	Nom producteur	Profondeur	Vertical/ Dévié	Adresse	Prénom NOM	Téléphone	E-mail	Mise en service	Arrêt	Exploitant	Société de Services	Cogénération	Nombre d'équivalents logements raccordés	Réseau de chaleur	Appoint		
CACHAN 1	GCA1	GCA3	*-1490 / -1587	D	Avenue de la division Leclerc	Dalila ABADOU	01 46 64 53 43	socachal@sfr.fr	Octobre 1985	Décembre 2019	DALKIA	GPC-I&P	Non	5912	Cachan 1 & 2	Gaz-FOL	Passage en triplet prévu	- Démarrage des études : début août 2011 - Dates prévisionnelles de réalisation : 2013 Deux options étudiées: * un triplet fonctionnant avec un nouveau producteur et GCA1&GCA2 en injecteurs + un nouveau doublet classique (deux puits déviés)
CACHAN 2	GCA2	GCA4	*-1580 / -1580	D/V	Avenue de la division Leclerc	Dalila ABADOU	01 46 64 53 43	socachal@sfr.fr	Décembre 1985	Décembre 2019	DALKIA	GPC-I&P	Non				Passage en triplet prévu	* un triplet fonctionnant avec un nouveau producteur et GCA1&GCA2 en injecteurs + un nouveau doublet classique (deux puits déviés) [4]
CRETEIL MONT MESLY	GCRT2	GCRT1	*-1667 / -1658	D	RUE DES REFUGNIKS	Daniel ROFFE	01 49 56 36 48	daniel.roffe@ville-creteil.fr	Octobre 1985		DALKIA/SCUC	GPC-I&P	Oui	30851	Créteil	Cogé-FOD - FOL	Perspectives de réhabilitation avant 2015	Ajout d'une PAC en 2013 [4]
MAISONS-ALFORT 1	GMA2	GMA1	*-1536 / -1634	D	rue Georges GAUME	Jean-Luc NICAISE	01 48 93 96 86	agemo.jeanlucnicaise@orange.fr	Juillet 1985		DALKIA	GPC-I&P	Oui	9712	Maisons-Alfort 1	Cogé-Gaz-FOD	Perspectives de réhabilitation avant 2015	Rechemisage total du puits de production en 2012 Rechemisage injecteur prévu en 2014 [4]
MAISONS-ALFORT 2	GMA4	GMA3	*-1621 / -1627	D	183 AVENUE DE LA LIBERTE	Jean-Luc NICAISE	01 48 93 96 86	agemo.jeanlucnicaise@orange.fr	Octobre 1986		DALKIA	GPC-I&P	Oui	9712	Maisons-Alfort 2	Cogé-Gaz-FOD	Réhabilitation récente	Rechemisage parties basses du puits de production et du puits d'injection en 2012
VILLENEUVE-SAINT-GEORGES	GVSG2	GVSG1	*-1629 / -1641	D	Rue Charles Péguy	M. Scheiner	01 49 80 73 52	fscheiner@dalkia.com	Octobre 1987		DALKIA/SCV G	GPC-I&P	Oui	4300	Villeneuve-st-Georges	Cogé-Gaz-FOD- FOL	Perspectives de réhabilitation avant 2015	Perspectives de réhabilitation avant 2015 [3]
CHAMPIGNY SUR MARNE	GCHM2&GCHM1	GCHM3	*-1656 / -1726	V	Rue des Bordes, Chennevières-sur-Marne	Jacques Leroyer	01.45.16.60.01	jacques.leroy@cofely-gdfsuez.com	1985		COFELY	CFG Services	Oui	7140	Champigny-sur-Marne	Cogé-Gaz-FOD	Réhabilitation en cours	Rechemisage total du producteur (390 - 2002 m) en 2008 - Réparations en cours (mars -juin 2013) car nombreuses perforations face et au-dessus de l'Albien Réalisation d'un nouveau producteur en 9 ^h 5/8 : octobre 2011 Injecteur d'origine
CHEVILLY-LARUE	GCHL1	GCHL2	*-1647 / -1646	V	79, Avenue Franklin Roosevelt	M. ANDRES; M. LE BARS	01 46 87 66 22	contact@semhach.fr	Octobre 1985		SEMHACH	CFG Services	Oui	21060	Chevilly-Larue & L'Hay-les-roses	Cogé-Gaz	Perspectives de réhabilitation avant 2015	Perspectives de réhabilitation du forage injecteur avant 2015 (après mise en service doublet de Villejuif) [3]
L'HAY-LES-ROSES	GHLR1	GHLR2	*-1614 / -1632	V	Angle de l'avenue du général de gaulle autoroute A6	M. ANDRES; M. LE BARS	01 46 87 66 22	contact@semhach.fr	Octobre 1985		SEMHACH	CFG Services	Oui	21060		Cogé-Gaz	Perspectives de réhabilitation avant 2015	Perspectives de réhabilitation du forage injecteur avant 2015 (après mise en service doublet de Villejuif) [3]
FRESNES	GFR1	GFR2	*-1624 / -1619	V		M. BELLO	06 46 43 15 94	jerome.bello@cofely-orienta-a2a.fr	Janvier 1987	Juillet 2013	COFELY	CFG Services	Oui	5707	Fresnes	Cogé-Gaz-FOD	Passage en triplet prévu	Dossier de demande d'autorisation de réaliser un nouveau forage de production et de transformer le doublet existant en forages injecteurs réalisé par CFG en 2012. Objectifs : fin travaux en fin 2013 et mise en service début 2014
ALFORTVILLE	GAL1	GAL2	*-1634 / -1631	V	Chemin de Villeneuve Saint Georges	Gérald OUZOUNIAN	01 46 11 81 96	smag.sagechau@geothermie-alfortville.fr	Octobre 1987		DALKIA	CFG Services	Non	5500	Alfortville	Gaz	Perspectives de réhabilitation	Percée thermique observée depuis 1999 (-3°C fin 2010) [5] Perspectives de réhabilitation car le MO veut conserver la solution de géothermie [3]

IDENTIFICATION						RESPONSABLE TECHNIQUE			HISTORIQUE		DONNEES D'EXPLOITATION				
Nom Opération	Nom Injecteur	Nom producteur	Profondeur	Vertical/ Dévié	Adresse	Prénom NOM	Téléphone	E-mail	Mise en service	Arrêt	Exploitant	Société de Services	Cogénération	Nombre d'équivalents logements raccordés	Réseau
THIAIS	GTHI2	GTHI1	* -1631 / -1634	V	RN86 (avenue de Versailles), angle de la rue Maximilien	Jacques Leroyer		jacques.leroyer@cofely-gdfsuez.com	Juillet 1986		COFELY	CFG Services	Non	4000	Th
ORLY 2 LE NOUVELET	GORY5	GORY6A	* -1631 / -1635	V		M. Porsmoguer / M. Calpas		guy.calpas@groupevalophis.fr / jean-yves.porsmoguer@groupevalophis.fr	Janvier 2008		DALKIA	CFG Services			
SUCY EN BRIE triplet	GSUC2&GSUC1	GSUC3	* -1732 / -1723	V		Jacques Leroyer		jacques.leroyer@cofely-gdfsuez.com	Octobre 2008		SOGESUB	CFG Services			
ORLY-ADP	GADP2	GADP1	* -1649 / -1643	V		M. Porsmoguer / M. Calpas		guy.calpas@groupevalophis.fr / jean-yves.porsmoguer@groupevalophis.fr	Mars 2011		DALKIA	CFG Services			
BONNEUIL SUR MARNE	GBL3	GBL1	* -1669 / -1658	V	Rue Jean Rostand	M. MERLE	01 49 80 39 36	pmerle@sicio.com	Janvier 1987	Septembre 2012	SETBO	AQUAPROX	Non	5000	Bonne Ma
IVRY SUR SEINE	GIV2	GIV1							Janvier 1984						
SUCY EN BRIE	GSUC2	GSUC1	* -1607 / -1610	V	Avenue Georges Pompidou				Octobre 1984	Octobre 2008	COFELY	CFG Services	Non	2500	Sucy-
ORLY1 GAZIER	GORY1	GORY2	* -1625 / -1634	V					Janvier 1984	Janvier 2012					
ORLY 2 LE NOUVELET	GORY4	GORY3	* -1628 / -1625	V	"La pierre au prêtre», rue du nouvelet, parking du supermarché LECLERC				Janvier 1987	Janvier 2008	DALKIA	CFG Services	Non	7800	Orly

Sources :

Nom Opération	ETAT ACTUEL DE L'EXPLOITATION														
	Type d'exploitation	HIVER [2]		ÉTÉ [2]		Débit nominal (m3/h)	Débit moyen annuel (m³/h) [1]	Température en tête de puits (°C)	Température moyenne réinjection moyenne annuelle (°C) [1]	Traitement anti-corrosion				Etat général du p	
		Débit (m3/h)	Température injection	Débit (m3/h)	Température injection					Date de première mise en service	Date de dernière mise en service	Fournisseur	Installateur	Dernière diagraphie	Etat ha chan por
CACHAN 1	Pompage	137.1	48.8	58.2	58.8	180	149	70	49.2	1991	déc-09	DALKIA	GPC IP	Décembre 2009	b
CACHAN 2	Pompage	156.4	45.4	69.7	59.8	180	135	70	44.6	1993	mai-13	DALKIA	GPC IP	22 mai 2013	b
CRETEIL MONT MESLY	Pompage	235	46.9	118.7	71.7	300	207	78.9	52.3	oct-91	févr-12	DALKIA	GPC IP	Juin 2009	b
MAISONS-ALFORT 1	Pompage	239.9	52.1	122.8	63.6	300	232	73	56	sept.-91	oct-12	GPC IP	GPC IP	Septembre 2012	n
MAISONS-ALFORT 2	Pompage	194.2	49.7	96.7	66.2	280	192	74	61.4	sept.-91	janv-13	DALKIA	GPC IP	Novembre 2012	b
VILLENEUVE-SAINT-	Artésienne	232.3	47.1	92.8	55.4	350	157	76	55	sept-92	sept-12	DALKIA	GPC IP	Juillet 2012	m

3. Situation réglementaire des opérations

D'après les informations recueillies auprès de la DRIEE, toutes les opérations de géothermie au Dogger du Val-de-Marne disposent d'un permis d'exploitation en règle. La plupart des permis ont été renouvelés une fois.

4. Evolution chimique du Dogger

L'évolution chimique du Dogger fait l'objet d'un suivi du BRGM depuis 1989.

Les principales observations réalisées sur l'évolution du pH entre 1989 et 2010 sont les suivantes (Cf. Figure 41).

- absence de cartographie initiale de pH,
- acidification progressive du réservoir en particulier au droit des sites du sud et de l'est de Paris depuis la mise en service des puits.

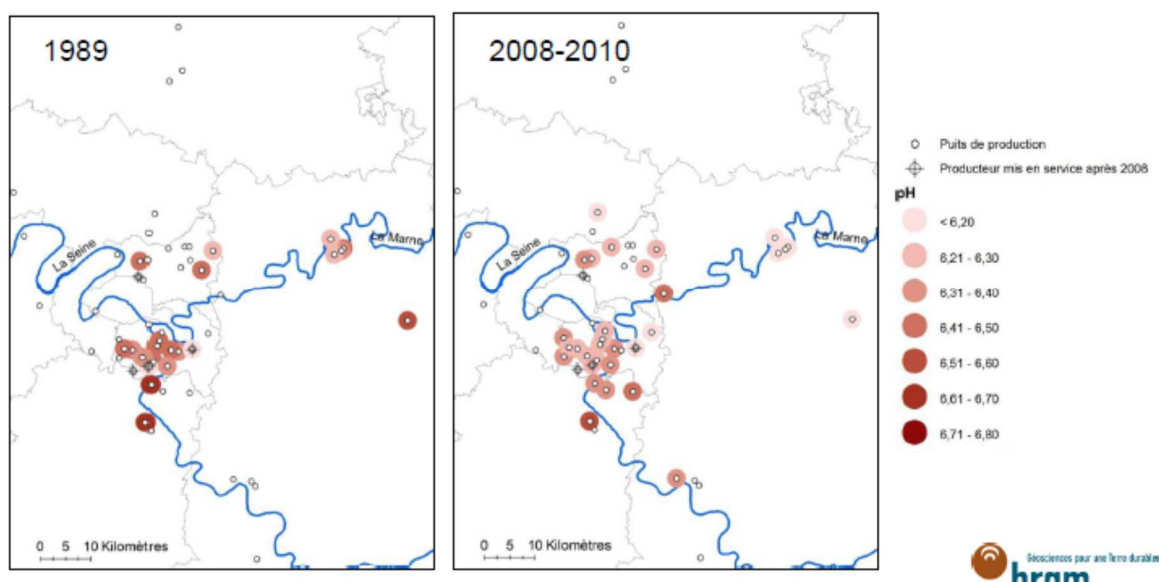


Figure 41 : Evolution du pH des fluides en tête de puits
(source : BRGM - Projet « Gestion Dogger Ile-de-France » Synthèse 2011-2012)

Les principales observations réalisées sur l'évolution des sulfures des fluides entre 1989 et 2010 sont les suivantes (Cf. Figure 42) :

- délimitation de deux zones chimiquement distinctes: une zone à forte teneur en sulfures (nord et ouest de Paris) et une zone à faible teneur (sud et est),
- accroissement de la teneur en sulfures au sud et à l'est de Paris depuis la mise en service des puits.

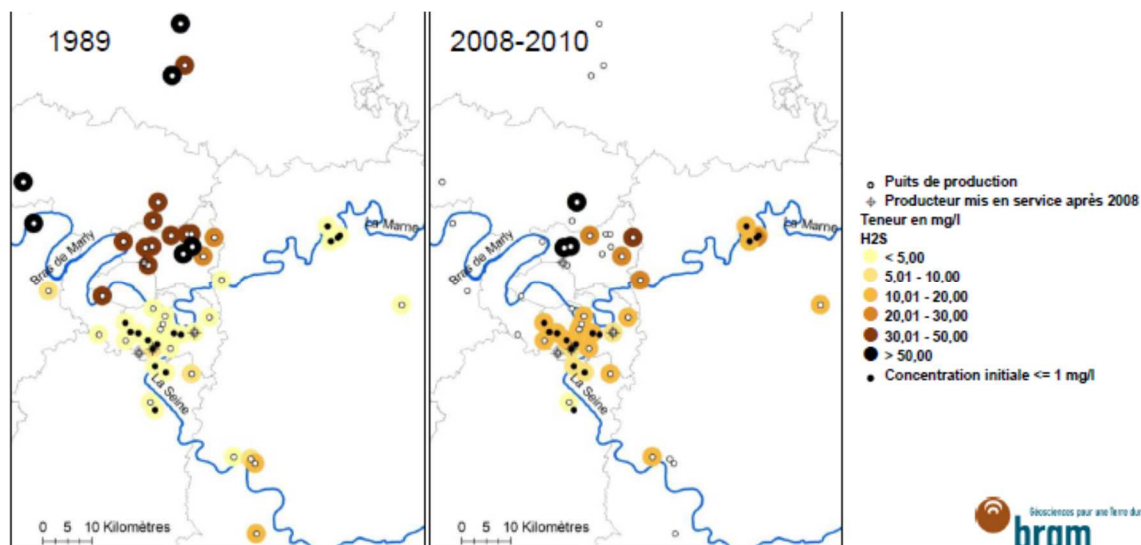


Figure 42 : Evolution des sulfures des fluides en tête de puits
 (source : BRGM - Projet « Gestion Dogger Ile-de-France » Synthèse 2011-2012)

Les phénomènes observés amènent les conséquences suivantes sur les phénomènes de corrosion-dépôts:

- augmentation de la teneur en fer dissous en tête de puits de production pour 30% des sites en activité (la teneur en sulfures et le pH sont deux facteurs essentiels des processus de corrosion-dépôts, tout comme le mode d'exploitation des puits (pompe immergée ou production par artésianisme), et les teneurs en chlorures (facteur réduisant l'efficacité des inhibiteurs)
- réajustement des quantités d'inhibiteurs injectées :
 - entre 2 et 4 mg/l sur les sites « non artésiens »
 - 5 mg/l sur les sites artésiens, au lieu de 2.5 mg/l initialement en raison des vitesses de circulation réduites par rapport aux sites « non artésiens ».

5. Conclusion de l'état des lieux sous-sol

Le département du Val-de-Marne présente une situation exceptionnelle en France par sa densité d'exploitations géothermiques au Dogger. Cette particularité est liée à la conjonction de plusieurs facteurs : de bonnes caractéristiques hydrogéologiques de la ressource, une urbanisation dense, et une volonté politique qui a accompagné le développement de ces opérations.

Parmi les 16 opérations réalisées dans les années 1980, 14 sont toujours exploitées, moyennant des opérations de réhabilitation et de remédiation régulières, et 6 nouveaux projets sont à l'étude.

Cette situation exceptionnelle pose la question de la pérennité de la ressource du Dogger dans le département, qui est traitée au paragraphe 6.

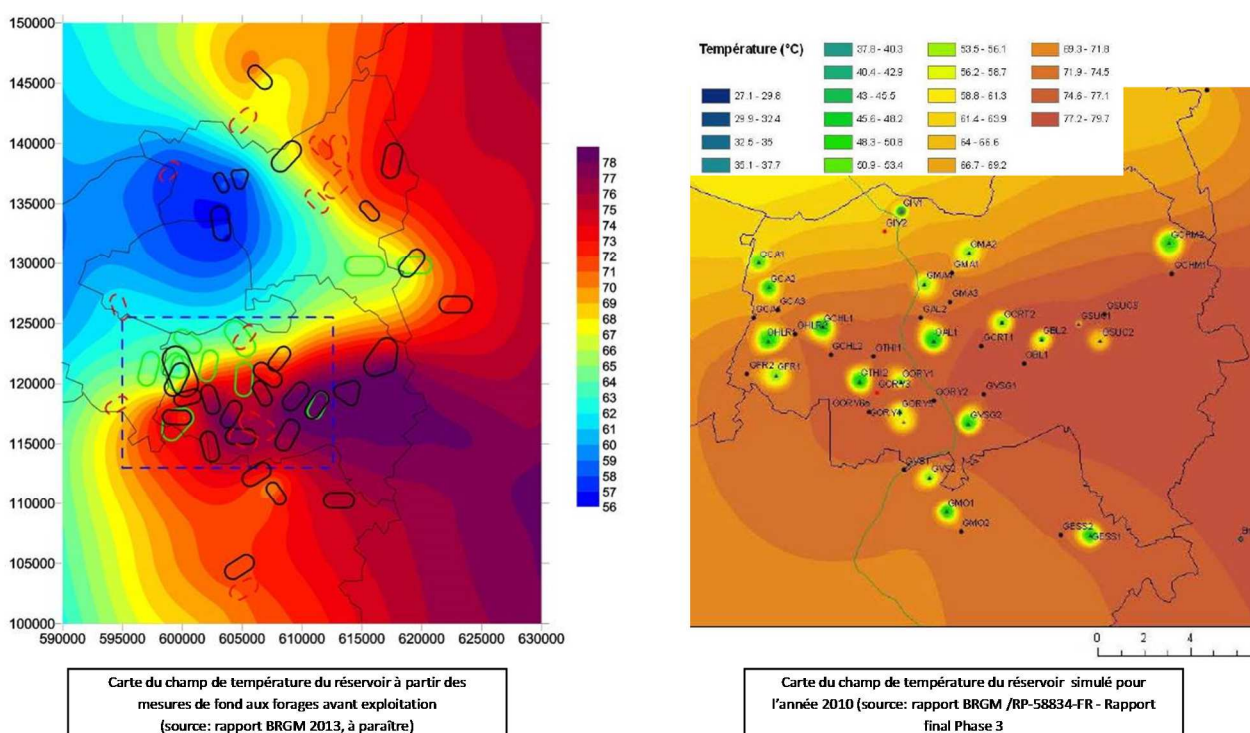


Figure 43 : Evolution thermique du Dogger depuis la mise en service des puits dans le Val-de-Marne

6. Bilan Energétique

Cette partie a pour objectif de réaliser un état des lieux entre les performances énergétiques des réseaux de chaleur géothermiques du Val-de-Marne 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 »¹⁴ 2012.

a) Production de chaleur

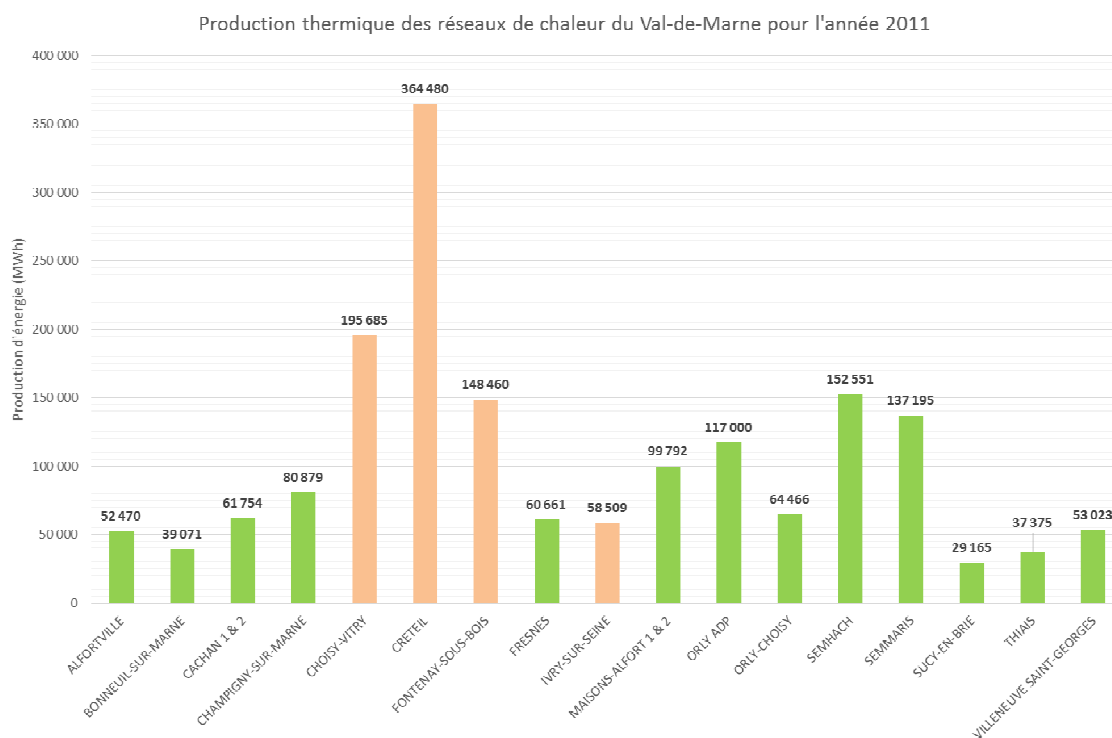


Figure 44: Productions et ventes de chaleur dans le Val-de-Marne en 2011

Ces résultats ont été obtenus pour l'année 2011. Cette année a été une année « douce », en effet la valeur des Degrés-Jours Unifiés (DJU, traduisant la rigueur climatique) sur l'année n'a été que de 2 020 contre 2 256 pour l'année 2012. A titre de comparaison, les DJU de la période trentaine (1971-2000) de la station météorologique de référence (Paris-Orly) sont de 2 631.

¹⁴ <http://www.viaseva.org/Annuaire/Annuaire-reseaux>

b) Bouquet Énergétique

Le diagramme ci-dessous présente la répartition des sources énergétiques utilisées pour la production de chaleur des réseaux de chaleur du Val-de-Marne en 2011.

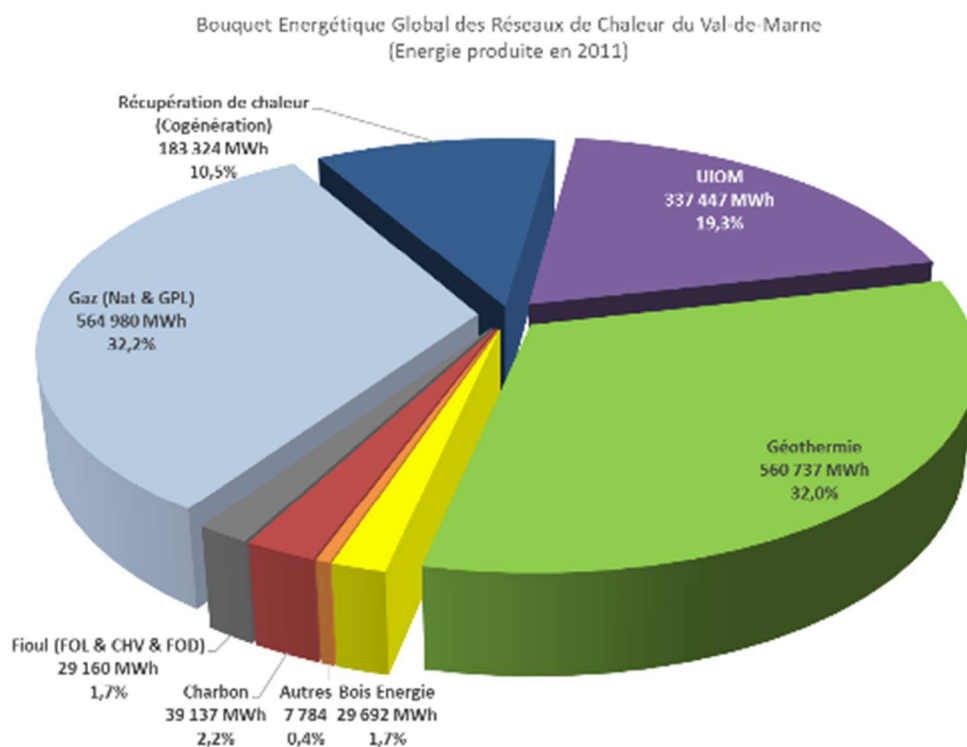


Figure 45 : Répartitions des sources énergétiques utilisées pour la production de chaleur dans le Val-de-Marne en 2011

Sur la totalité de la chaleur produite en 2011, plus de 50 % l'a été avec des énergies renouvelables et de récupération. L'énergie renouvelable majoritaire utilisée dans le département est la Géothermie avec 32 % de l'énergie produite. Le Bois Énergie arrive ensuite avec 1,7 %. Les énergies de récupération, issues notamment des Usines d'Incinération d'Ordures Ménagères, représentent environ 19,3 %.

Ensuite, environ 40% de la chaleur produite provient du gaz, soit directement (32 % du total), soit indirectement (issue d'une cogénération, 10,5 %).

Enfin, sont utilisées de façon marginale : le Charbon (2,2 %), le Fioul (1,7%) et la récupération de chaleur d'un industriel (Réseau de Maisons-Alfort – 0,4 %). Les parts importantes de Charbon et de Fioul proviennent exclusivement du bouquet énergétique du réseau CPCU qui a été affecté au réseau de Choisy-le-Roi/Vitry-sur-Seine.

Les réseaux de chaleur du Val-de-Marne présentent les mix énergétiques suivants :

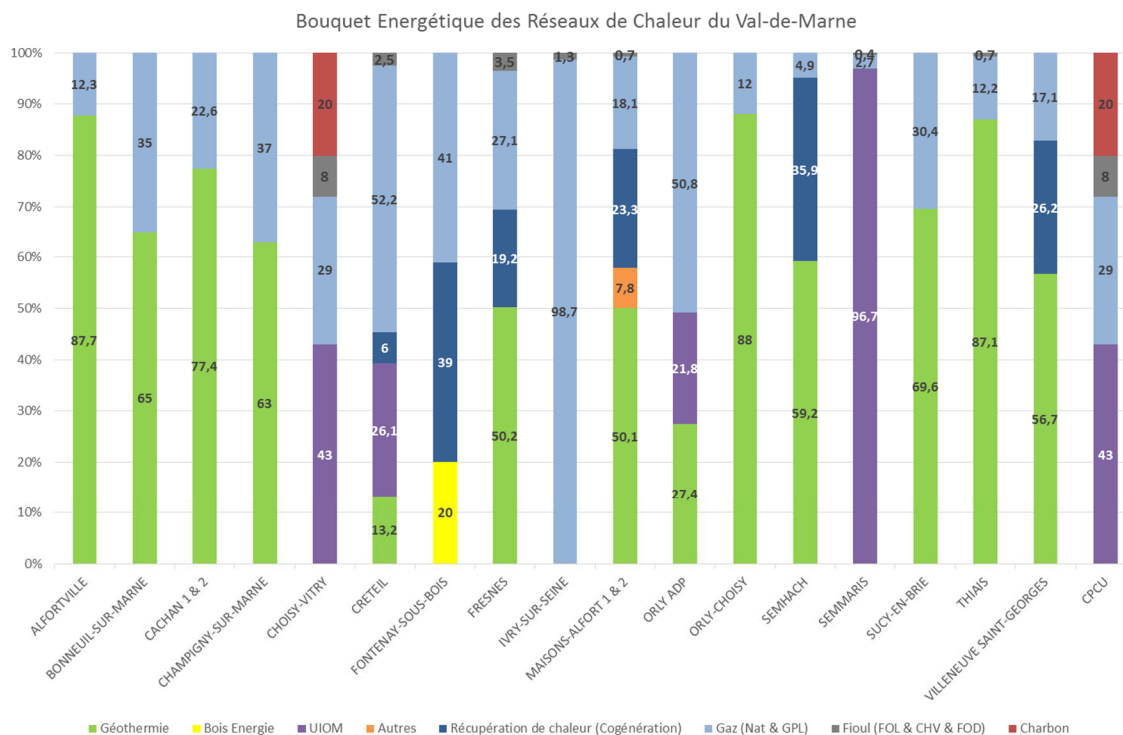


Figure 46 : Bouquets Energétiques des réseaux de chaleur du Val-de-Marne

▪ Réseaux fossiles

Les réseaux utilisant majoritairement les énergies fossiles sont seulement au nombre de 3 sur le département (Choisy-Vitry, Ivry-sur-Seine et Fontenay-sous-Bois).

▪ Réseaux géothermiques

Sur les 13 réseaux géothermiques du département, 6 possèdent un système de cogénération : la SEMHACH, Créteil, Maisons-Alfort, Fontenay-sous-Bois, Fresnes et Villeneuve-Saint-Georges. Ces réseaux utilisent la cogénération comme une énergie secondaire, laissant la priorité aux installations géothermales.

Le réseau de Créteil ainsi que celui d'Orly ADP ont un pourcentage d'ENR&R inférieures à 50%, les 11 réseaux restants utilisent tous de la géothermie avec un taux de couverture moyen de 68 % avec une production moyenne de 43 000 MWh de géothermie par réseau.

Ces derniers, bénéficiant d'un bouquet énergétique composé à 50% d'énergies renouvelables, les abonnés bénéficient d'une T.V.A. à 5,5% sur l'abonnement et sur leurs consommations.

▪ Réseaux UIOM

Comme le montre la carte suivante, le département dispose de trois grands syndicats, le SYCTOM, le SIEVD et le SMITDVUM (alimentant respectivement le réseau de Choisy-le-Roi/Vitry-sur-Seine, de Rungis et de Créteil).

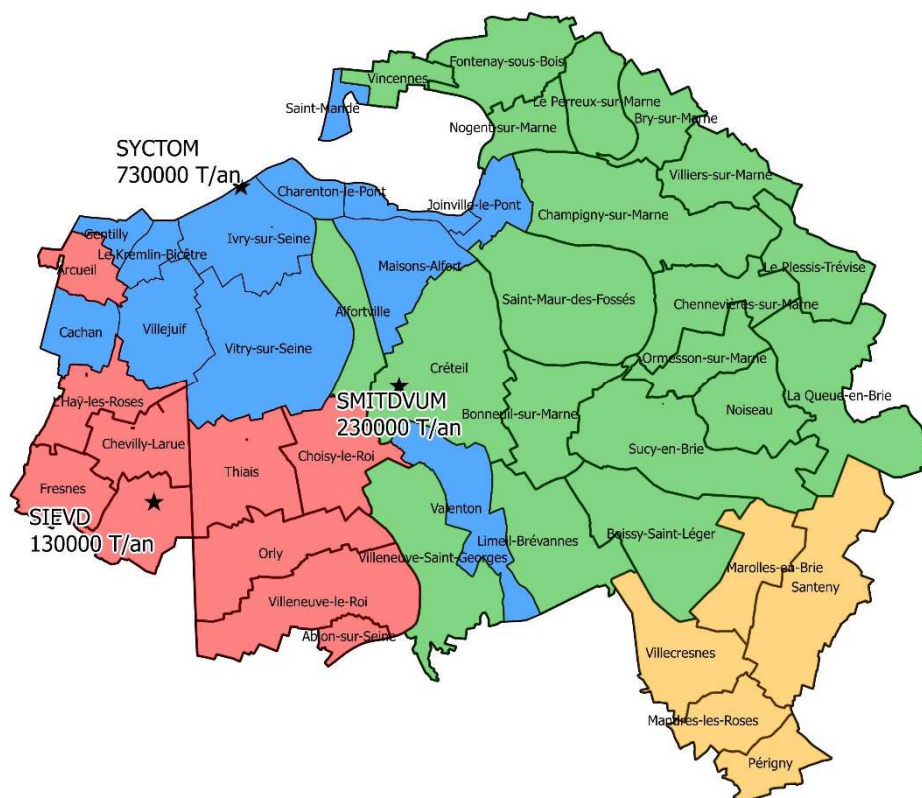


Figure 47 : Répartition de la valorisation des déchets sur le département

De la même manière, les cinq villes présentes au sud-est du département dépendent du SIVOM, un syndicat récoltant des déchets provenant de villes du Val-de-Marne, de l'Essonne (91) ainsi que de la Seine-et-Marne (77).

Voici la répartition de la production de chaleur par les trois syndicats disposant de capacité de production de chaleur dans le Val-de-Marne :

Fourniture des Usines d'Incinération des Ordures Ménagères aux Réseaux de chaleur du Val-de-Marne

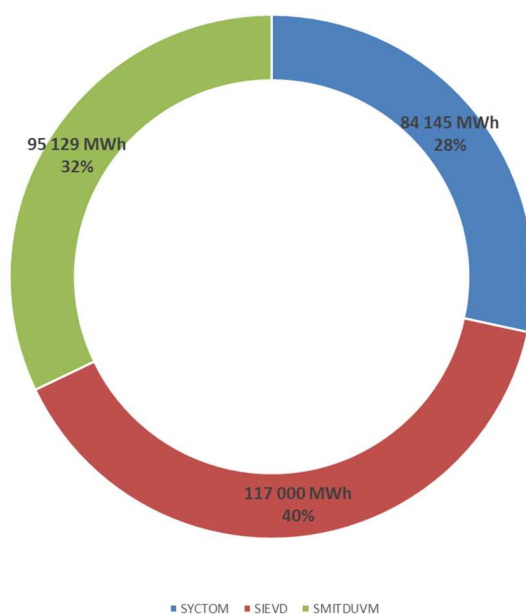


Figure 48 : Répartition de la chaleur produite par incinération de déchets sur le Val-de-Marne

Même si le SMITDUVM qui dispose de la plus grande capacité d'incinération, sa production de chaleur fournie pour le réseau de Créteil reste néanmoins inférieure à celle fournie par le SIEVD au réseau de la SEMMARIS. Les valeurs données pour le SYCTOM correspondent à la fraction de la chaleur CPCU utilisée par le réseau de Choisy-Vitry.

c) Taille des réseaux de chaleur

Le tableau ci-dessous présente le nombre d'équivalent-logements selon les Maitres d'ouvrages et selon la définition de l'équivalent-logement retenu par le SRCAE¹⁵ raccordés par les différents réseaux de chaleur du Val-de-Marne.

¹⁵ Etude sur les réseaux de chaleur en Ile-de-France, Groupe SETEC, Octobre 2012 : « Equivalent-logement : Unité de consommation énergétique équivalente à un logement moyen de 65 m² rendant compte des consommations de l'ensemble des usages (activités, habitat, ...). La valeur retenue en 2005 est 1 Equivalent-Logement = 11,7 MWh/an

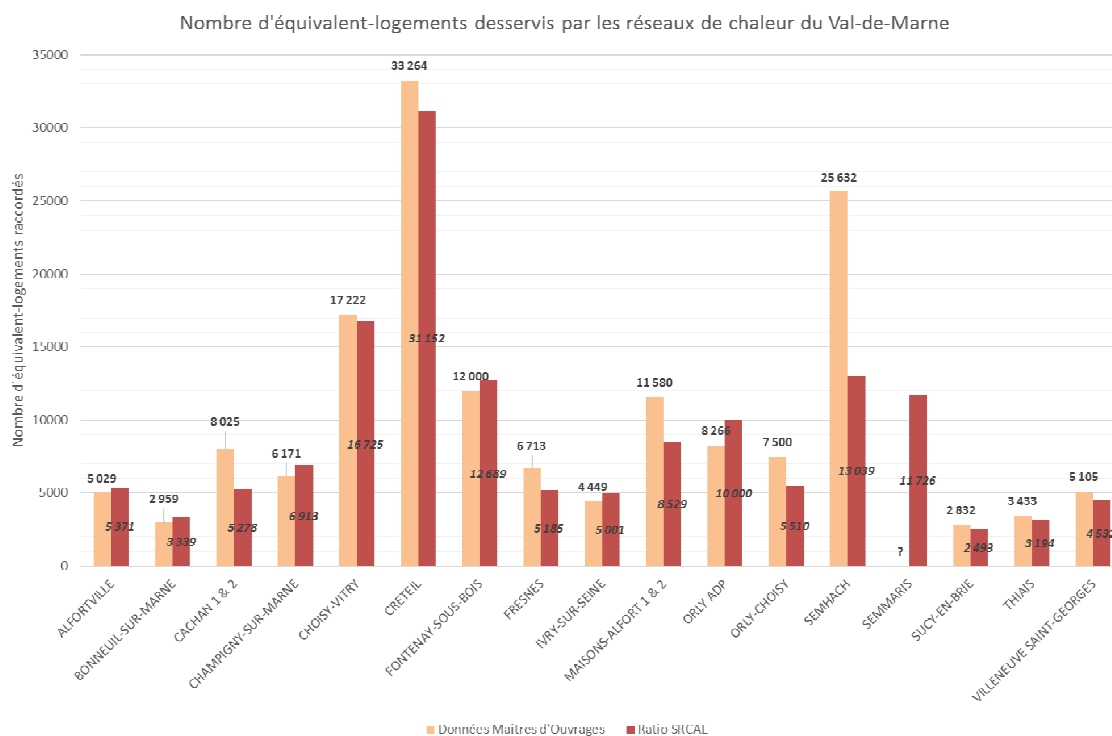


Figure 49 : Nombre d'équivalent-logements raccordés à des réseaux de chaleur dans Val-de-Marne en 2011

Le réseau de la SEMHACH¹⁶ présente une importante disparité suivant la méthode de calcul du nombre d'équivalent-logement. Dans ce cas bien particulier, l'écart provient du fait que le réseau de la SEMHACH est entièrement constitué en cascades de température, ce qui fait que l'énergie produite pour alimenter un logement « haute température » sert également à fournir un ou plusieurs logements « basse température ». La valeur du Maitre d'ouvrage, dans ce cas, est plus pertinente que celle donnée par l'estimation retenue dans le SCRAE.

Sur l'ensemble du département du Val-de-Marne, entre 170 000 (valeur maitres d'ouvrages) et 160 000 équivalent-logements (valeur SCRAE) sont raccordés à un réseau de chaleur.

Entre 165 000 équivalent-logements (valeur maitres d'ouvrages) et 155 000 (valeur SCRAE) sont alimentés par au moins une énergie renouvelable et/ou de récupération. Seul le réseau d'Ivry-sur-Seine ne dispose pas, à ce jour, d'une production d'énergie renouvelable et/ou de récupération.

Entre 135 000 équivalent-logements (valeur maitres d'ouvrages) et 115 000 (valeur SCRAE) sont alimentés par la géothermie.

La taille des réseaux du Val-de-Marne est variable. Nous avons 2 réseaux importants avec plus de 25 000 équivalents-logement raccordés (la SEMHACH et Créteil), 3 réseaux intermédiaires avec entre 10 000 et 20 000 équivalents-logement raccordés (Choisy-le-Roi/Vitry-sur-Seine, Maisons-Alfort et Fontenay-sous-Bois) et enfin 11 réseaux de petite et moyenne importance avec entre 2 500 et 9 000 équivalent-logements raccordés.

¹⁶ Le réseau de la SEMHACH alimente les villes de Chevilly-Larue, l'Haÿ-les-Roses et Villejuif.

En moyenne, entre 8 500 (valeur SCRAE) et 10 000 (valeur maitres d'ouvrages) équivalent-logements sont raccordés par réseau de chaleur.

	<i>Réseaux utilisant majoritairement les Energies Fossiles (3 réseaux)</i>	<i>Réseaux utilisant la Géothermie (13 réseaux)</i>	<i>Réseaux utilisant majoritairement la Géothermie (12 réseaux hors Créteil)</i>
<i>Nombre moyen d'Eq.-Log raccordés par réseau</i>	15 400	8 300 (SCRAE) 9 700 (MOA)	6 500 (SCRAE) 7 800 (MOA)

Figure 50 : Tableau comparatif des caractéristiques des réseaux de chaleur "Fossiles" et "Géothermiques" du département du Val-de-Marne

Les réseaux de chaleur utilisant majoritairement la géothermie sont déjà très présents dans le Val-de-Marne, sont cependant des réseaux de tailles réduites.

Les réseaux de chaleur utilisant majoritairement des énergies fossiles sont en moyenne 2 fois plus importants que ceux utilisant majoritairement la géothermie.

7. Bilan Environnemental

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

a) 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 consommé 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 51 donne l'allocation en CO₂ sur la période 2013-2020 (Plan National d'Allocation des Quotas sur la 3^e période – PNAQ III) pour les réseaux de chaleur du Val-de-Marne.

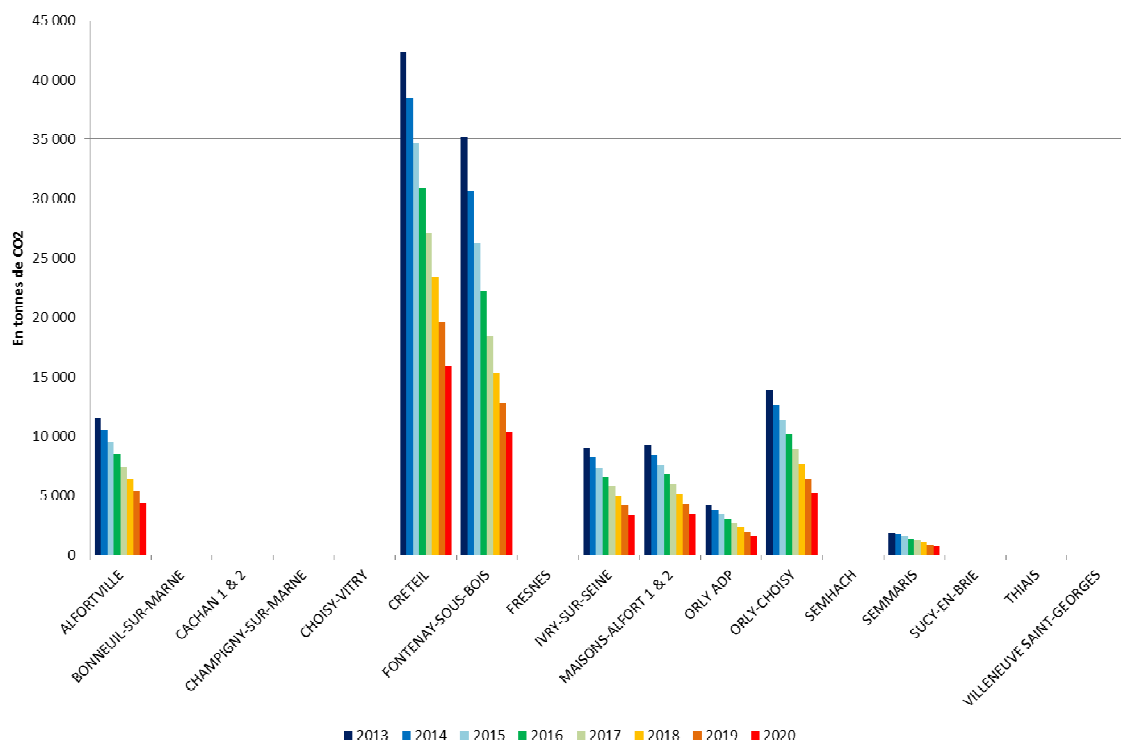


Figure 51 : Quotas d'émissions accordés aux réseaux de chaleur du Val-de-Marne sur la période de 2013 à 2020 – Décision de la commission européenne du 24 janvier 2012¹⁷

Le réseau de Créteil (réseau de Choisy-Vitry) et de Fontenay-sous-Bois présentent des quotas d'émissions bien supérieurs aux autres réseaux du département. La raison provient essentiellement de la taille de leurs chaufferies nécessaires à la production de chaleur.

Entre 2013 et 2020, la décroissance annuelle des quotas alloués diminue de 10 à 20%. En conséquence, les réseaux concernés devront trouver soit des économies d'énergies, soit diminuer le recours aux énergies fossiles. En l'absence de diminution des émissions, il existe un risque d'insuffisance de quotas pour les émissions réelles et ainsi engendrer le paiement d'une taxe supplémentaire. In fine, cette taxe supplémentaire pourrait se voir répercutée sur le tarif payé par les abonnés.

Il existe actuellement plusieurs autres installations situées dans le Val-de-Marne soumises au système de Quotas de CO2 parmi lesquelles :

- L'usine SANOFI à Alfortville
- Le CHU H. Mondor à Créteil
- L'usine de potabilisation du SIAAP à Valenton

Sous réserve de compatibilité, ces entités pourraient trouver un intérêt au raccordement de leurs installations à un réseau de chaleur vertueux situé à proximité.

¹⁷ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Liste-des-installations-et-quotas.html>

b) Contenu en CO₂ des réseaux de chaleur du département

Les réseaux de chaleur présentent des émissions de GES qui sont représentatives de la variété de leurs bouquets énergétiques. Voici le récapitulatif pour les réseaux du Val-de-Marne selon l'arrêté du 8 février 2012 :

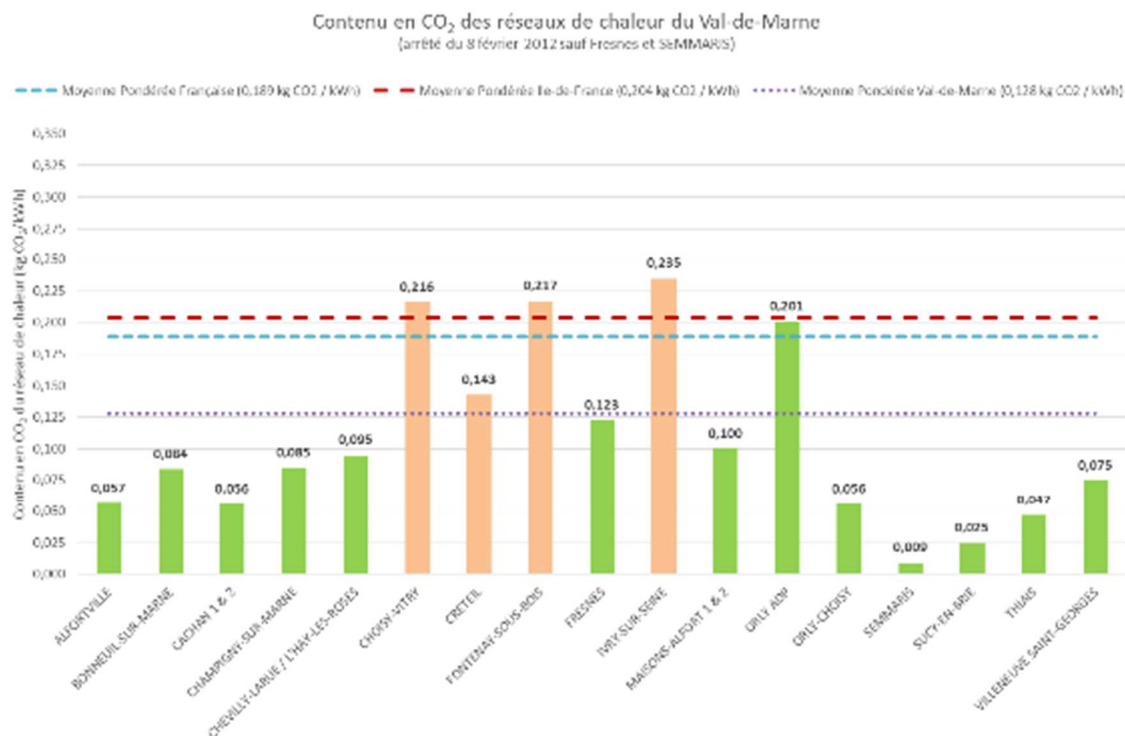


Figure 52 : Contenu en CO₂ des réseaux de chaleur du Val-de-Marne - Arrêté du 8 février 2012

On peut remarquer sur ce graphique que les réseaux utilisant majoritairement la géothermie (ou les EnR&R en général) comme source de production sont nettement en dessous de la moyenne val-de-marnaise, qui est alors de 0,128 kg(CO₂)/kWh. Tandis que les 4 autres, utilisant entre autres beaucoup d'énergies fossiles sont nettement en deçà de la moyenne francilienne de 0,204 kg(CO₂)/kWh.

Le contenu en CO₂ des réseaux de chaleur traduit le mix énergétique 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 Énergétique.

	<i>France</i> (Enquête de branche SNCU 2010)	<i>Ile-de-France</i> (Enquête de branche SNCU 2010)	<i>Val-de-Marne</i> (Fossiles + Géothermie) en 2011
Contenu en CO₂ (kg CO₂/kWh)	0,189	0,204	0,127

Figure 53 : Tableau comparatif des performances environnementales des réseaux de chaleur du Val-de-Marne à ceux des réseaux français et franciliens

A l'échelle départementale, l'ensemble des réseaux de chaleur produisent environ un tiers d'émissions de CO₂ en moins que la moyenne des réseaux de chaleur français. Malgré une forte part d'énergies renouvelables présentes sur le département, la moyenne francilienne reste tout de même au-dessous de celle de la France entière.

C. *Bilan Economique*

1. 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 :

a) 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 et UIOM 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.

b) 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.

c) 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).

2. Factures énergétiques pour un logement « type »

Tous les ans, l'association AMORCE, le syndicat SNCU et l'ADEME réalisent une enquête sur les prix de vente de la chaleur. **Les résultats donnent un prix moyen du MWh vendu par les réseaux de chaleur français égal à 67,5€ HT/MWh_{utile} en 2011.**

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.

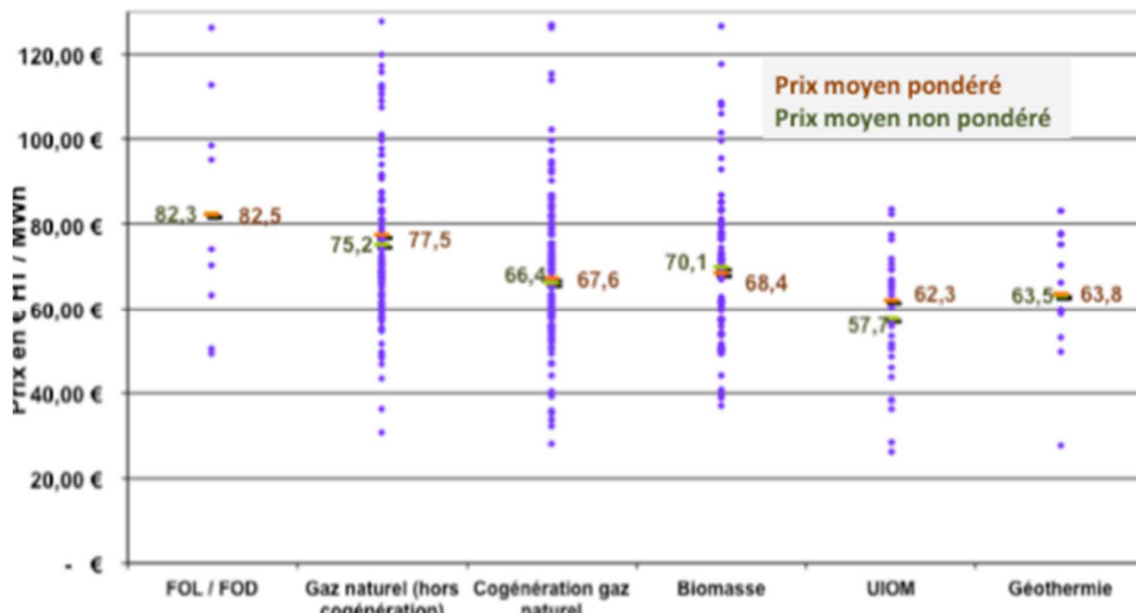


Figure 54 : Prix de vente de la chaleur en fonction de l'énergie principale utilisée sur le réseau de chaleur (Source : prix de vente de la chaleur AMORCE/SNCU/ADEME 2011)

L'association AMORCE, le syndicat SNCU et l'ADEME présentent également dans l'étude précitée, une estimation des factures énergétique, en coût global, payées par un logement dans un bâtiment « type ». Les bâtiments « type » sont représentatifs du patrimoine immobilier et sont les suivants : Bâtiment peu performant (300 kWh_{EP}/m²/an), Parc Social Moyen (170 kWh_{EP}/m²/an) et Bâtiment RT2005 (120 kWh_{EP}/m²/an).

Les définitions des termes utilisés sont les suivantes :

Facture				P1 = Abonnement (part fixe de la facture) + consommation (part variable de la facture)	P2 = Conduite et petit entretien
P1					
Charges locatives					
P1	P'1 + P2				
Facture totale				P3 = Gros entretien et renouvellement	
P1	P'1 + P2	P3			
Coût global de la chaleur				P4 = Amortissement des installations de production et de distribution	
P1	P'1 + P2	P3	P4		

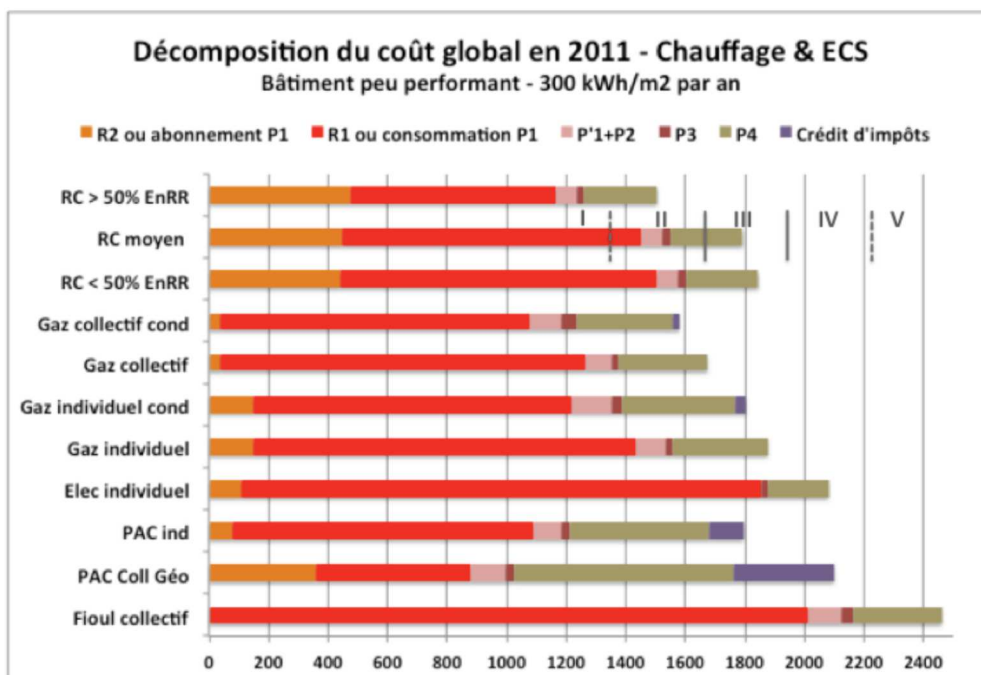


Figure 55 : Facture énergétique €TTC en coût global pour un logement d'un bâtiment de type « Peu Performant » suivant différents modes de chauffage (Source : prix de vente de la chaleur AMORCE/SNCU/ADEME 2011)

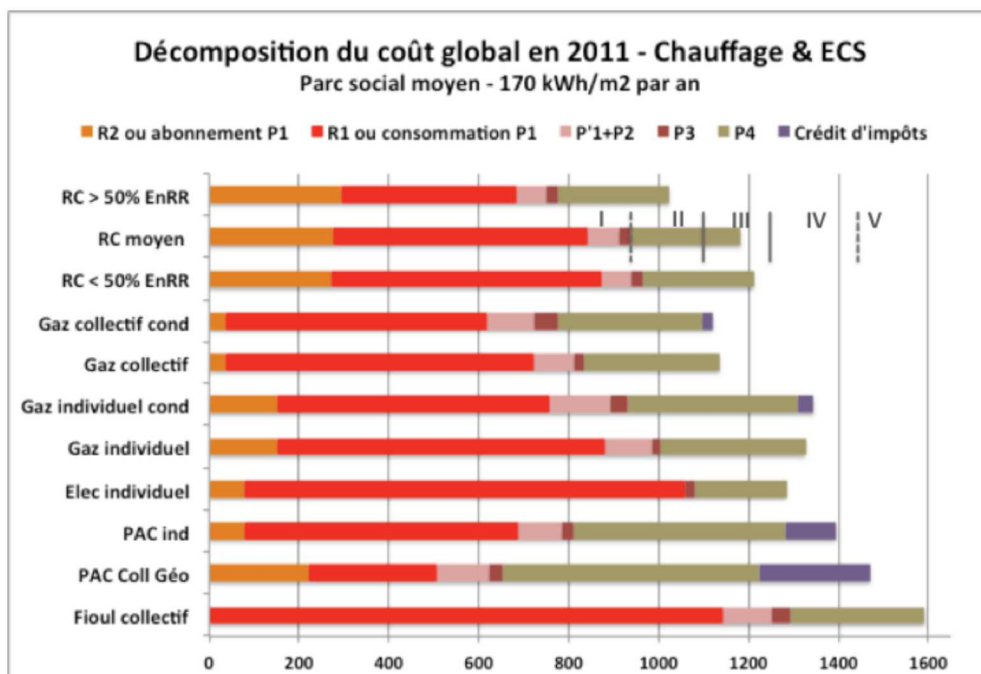


Figure 56 : Facture énergétique €TTC en coût global pour un logement d'un bâtiment de type « Parc Social Moyen » suivant différents modes de chauffage (Source : prix de vente de la chaleur AMORCE/SNCU/ADEME 2011)

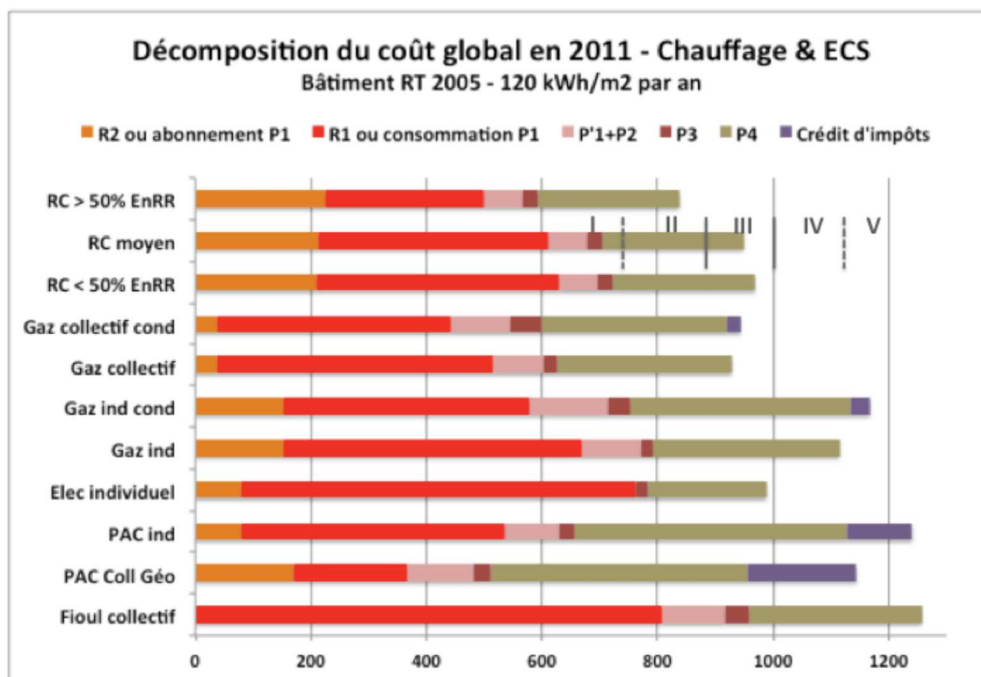


Figure 57 : Facture énergétique €TTC en coût global pour un logement d'un bâtiment de type « RT 2005 » suivant différents modes de chauffage (Source : prix de vente de la chaleur AMORCE/SNCU/ADEME 2011)

Dans toutes les typologies de bâtiment étudiées dans l'étude AMORCE, les réseaux de chaleur disposant de plus de 50 % d'ENR&R sont économiquement compétitifs en analyse de coût global de la chaleur (P1+ P'1 + P2 + P3 + P4).

3. Application aux réseaux du Val-de-Marne

Note préliminaire : Les aspects économiques présentés ci-dessous ont été réalisés aux dates de valeur de prix unitaires récoltés et ont été rassemblés sur des hypothèses communes. Les résultats peuvent donc être différents suivant les situations réellement rencontrées.

Les bases de l'étude AMORCE ont été reprises afin de déterminer la compétitivité des réseaux de chaleur du Val-de-Marne suivant les données transmises sur 16 des 17 réseaux du département. Dans un souci de confidentialité, les réseaux ont été rendus anonymes.

Réseau	% d'ENR	Date de valeur
A	> 50 %	Mai 2013
B	> 50 %	Moyenne 2011
C	> 50 %	Moyenne 2011
D	> 50 %	Moyenne 2011
E	> 50 %	Janvier 2012
F	> 50 %	Moyenne 2011
G	> 50 %	Janvier 2012
H	> 50 %	Juillet 2011
I	> 50 %	Janvier 2012
J	> 50 %	Janvier 2012
K	> 50 %	Moyenne 2011
L	> 50 %	Janvier 2012
M	> 50 %	Janvier 2012
N	< 50 %	Moyenne 2011
O	< 50 %	Janvier 2012
P	< 50 %	Janvier 2012

Figure 58 : Références des réseaux et date de valeur des prix utilisés

Pour le reste, l'ensemble des hypothèses considérées dans l'étude précitée ont été conservées (appartement de 70 m² dans un immeuble de 25 logements).

Sur chacun des graphiques présentés ci-après, une barre marron et une barre orange apparaissent. La première traduit la compétitivité du réseau de chaleur en termes de coûts globale, la seconde en termes de charges récupérables, y compris la part du Gros Entretien et Renouvellement (P3).

Pour des bâtiments « Peu performants » énergétiquement, les réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des ENR&R constituent donc la solution technique la plus compétitive.

En Val-de-Marne (cf. Figure 59) :

- les réseaux A, D, F, H, J sont des alternatives économiquement compétitives par rapport à des moyens de production centralisés classiques.
- les réseaux B, C, E, K, M et O, leur attractivité est concurrencée par les solutions traditionnelles. L'octroi de subventions pour ces réseaux sera donc de nature à favoriser leur développement.
- le raccordement aux réseaux G, I, L, N et P des bâtiments « Peu performants » serait plus onéreux, en l'état actuel du tarif, que d'envisager la mise en place d'un système de géothermie collective par PAC notamment.

Ces constats se maintiennent dans les résultats lorsque la performance énergétique des bâtiments augmente (cf. Figure 60 et Figure 61). Par ailleurs, l'amélioration de la performance énergétique renforce l'attractivité des réseaux du Val-de-Marne par rapport à la facture énergétique d'une solution classique.

Parmi les réseaux n'ayant pas plus de 50 % d'ENR&R dans le Val-de-Marne (Réseaux N, O et P), seul le réseau O arrive à être compétitif par rapport aux solutions classiques. Ceci est essentiellement dû à la présence d'ENR&R dans son bouquet énergétique. Les travaux actuellement en cours visant à dépasser les 50 % d'ENR&R devraient augmenter la compétitivité de ce réseau.

Le manque d'attractivité des réseaux G, I, L, N et P peut être expliqué ainsi :

- G : La taille du réseau semble juste pour amortir les investissements liés à la géothermie (part fixe proche de 80% de la facture énergétique).
- I : Le prix unitaire de la part variable semble élevé pour un réseau de géothermie. De plus, la part fixe de ce réseau est constituée à 1/3 d'une redevance spéciale.
- L : D'importants travaux ont été menés pour la création d'un doublet géothermal sur ce réseau. La tarification ne reflète peut-être pas encore la réalité des coûts de production de la chaleur.
- N : La tarification de ce réseau est fortement liée à son tarif d'approvisionnement en énergie primaire. La diversification de son approvisionnement énergétique actuellement en cours de réalisation sera de nature à faire diminuer la facture pour l'abonné.
- P : Ce réseau est pénalisé par sa forte dépendance aux énergies fossiles. Cependant, une réflexion est actuellement en cours afin de « verdir » ce réseau.

Les factures des réseaux de géothermiques du département sont également caractérisées par une prépondérance de la part de la part fixe dans le total. Celle-ci se représente entre 60 et 80 % et reflète l'importance des investissements à amortir pour pérenniser ces réseaux.

Décomposition du coût global (Chauffage+ECS) - Bâtiment Peu performant

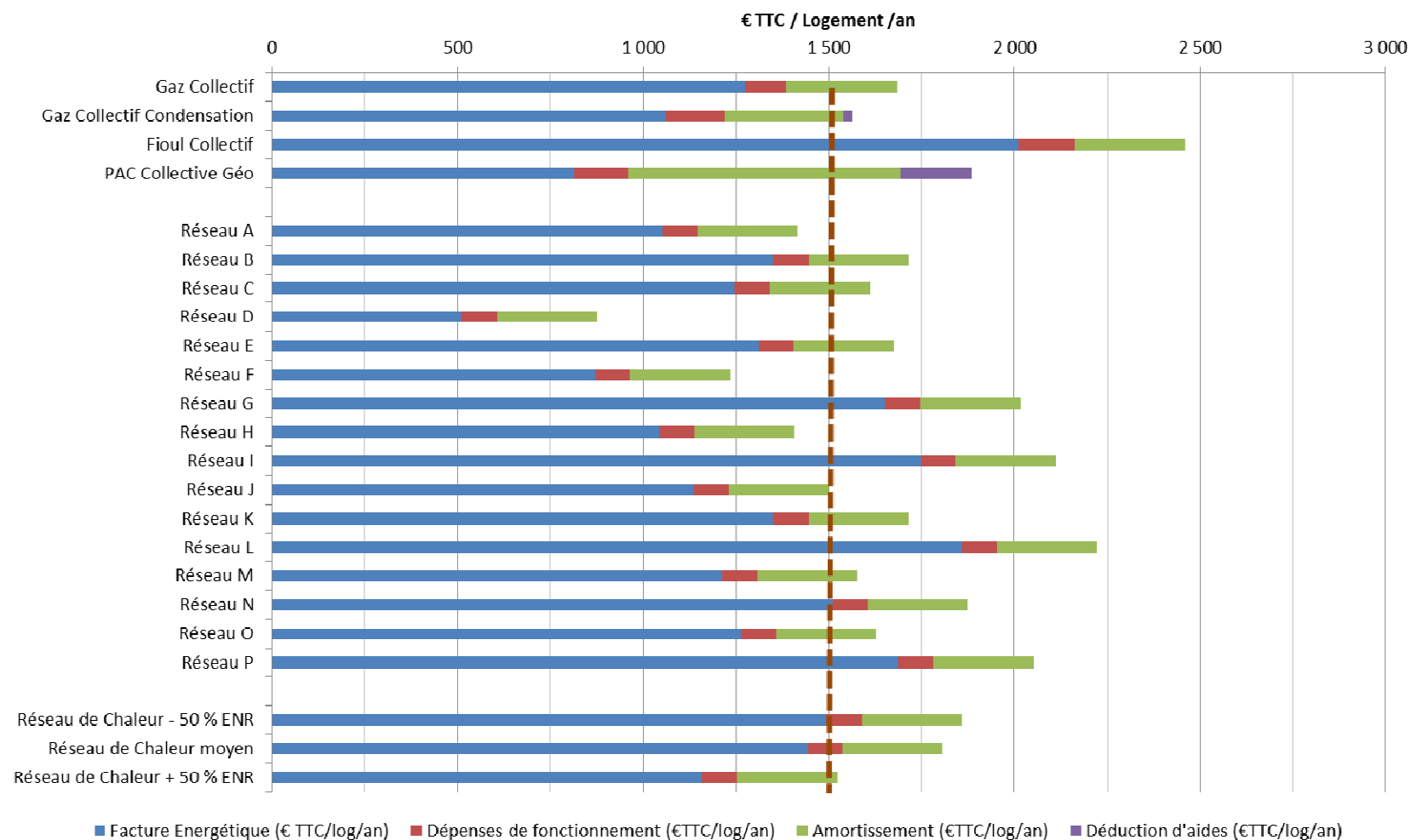


Figure 59 : Estimation de la facture énergétique €TTC en coût global pour un logement d'un bâtiment de type « Peu Performant » raccordé aux réseaux de chaleur du Val-de-Marne et comparé à différents modes de chauffage

Décomposition du coût global (Chauffage+ECS) - Bâtiment du Parc Social Moyen

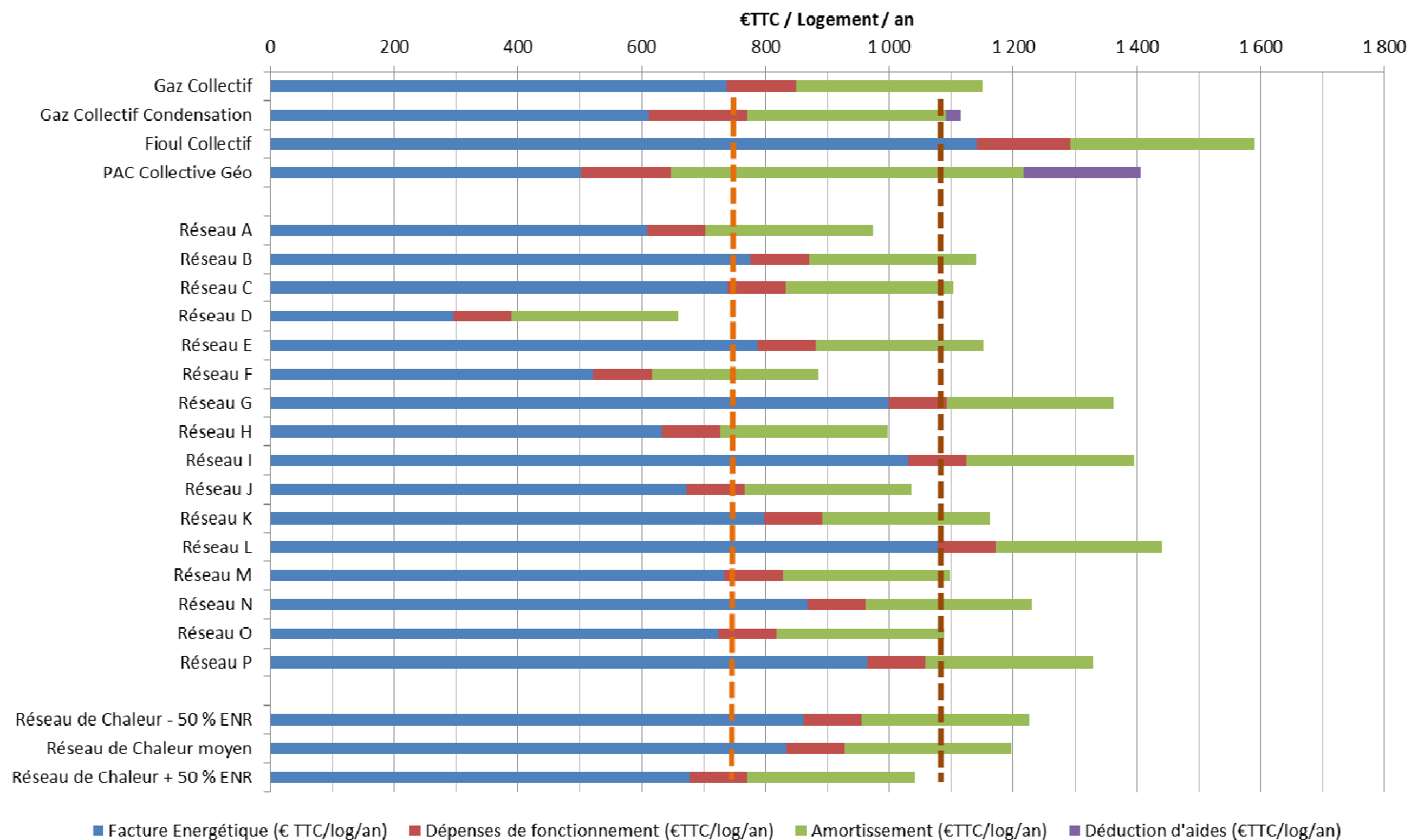


Figure 60 : Estimation de la facture énergétique €TTC en coût global pour un logement d'un bâtiment de type « Parc Social Moyen » raccordé aux réseaux de chaleur du Val-de-Marne et comparé à différents modes de chauffage

Décomposition du coût global (Chauffage+ECS) - Bâtiment RT 2005

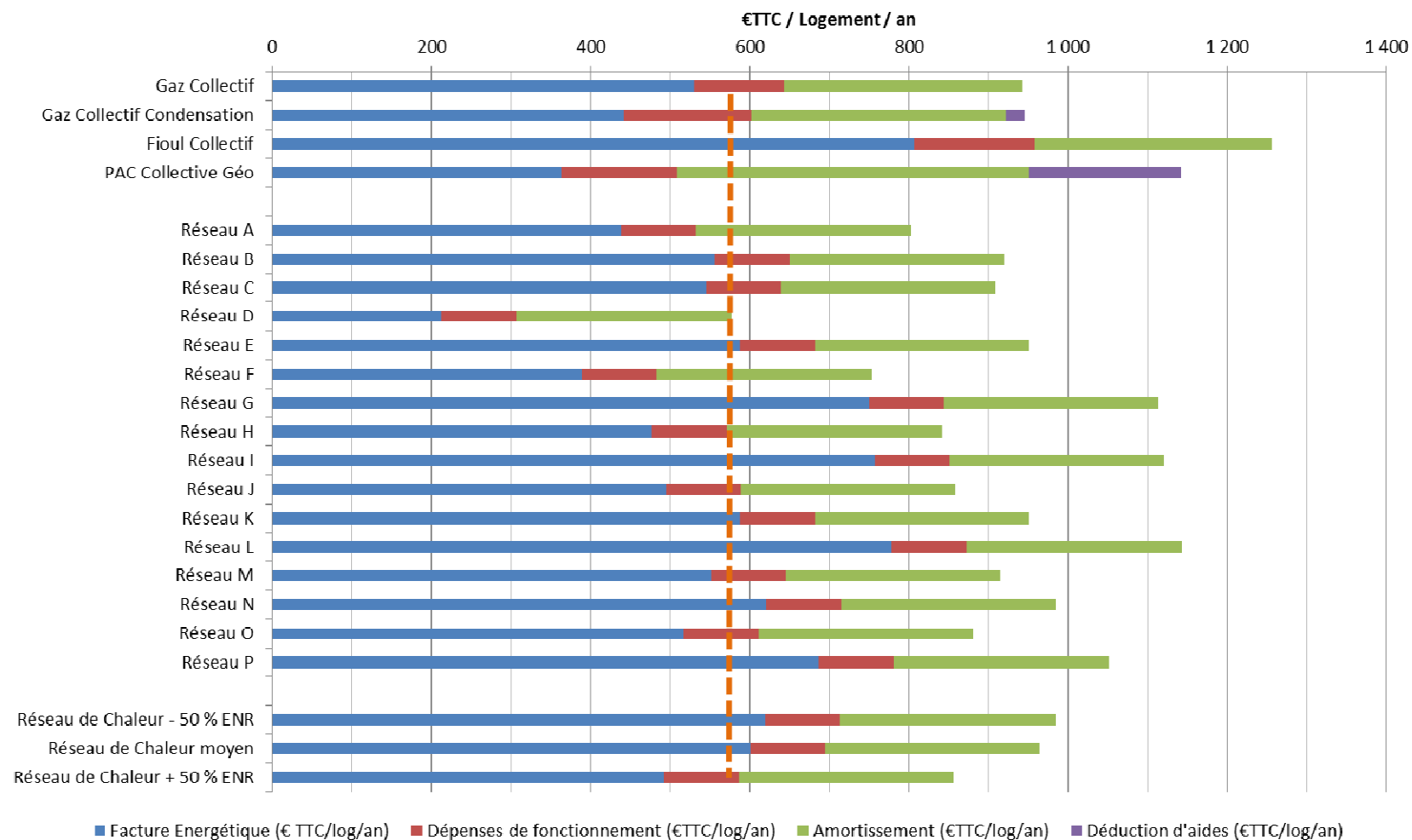


Figure 61 : Estimation de la facture énergétique €TTC en coût global pour un logement d'un bâtiment de type « RT 2005 » raccordé aux réseaux de chaleur du Val-de-Marne et comparé à différents modes de chauffage

D. Bilan Juridique

1. Définition juridique d'un réseau de chaleur

La notion de « Réseau de chaleur » n'a pas de définition juridique précise mais est caractérisée par éléments suivants : « *le propriétaire de la chaufferie (ou l'entreprise qui est chargée de ce service) vend de la chaleur à plusieurs clients dont l'un, au moins, n'est pas le propriétaire de l'installation, par l'intermédiaire d'une canalisation de transport de chaleur empruntant, au moins partiellement, le domaine public* ».

Ainsi, les distributions de chaleur suivantes ne répondent pas au terme juridique de « Réseau de chaleur » :

- Distribution de chaleur interne à un même établissement constitué de plusieurs bâtiments. Par exemple : Hôpitaux (AP-HP de Bicêtre, Saint-Maurice...), Campus universitaire, camp militaire...
- Distribution de chaleur interne à un même quartier constitué de plusieurs bâtiments appartenant à un même organisme HLM, privé ou public. Par exemple : Logements de Paris Habitat constituant le quartier des Hautes Noues à Villiers-sur-Marne...
- Distribution de chaleur interne à une même copropriété constituée de plusieurs bâtiments reliés à une chaufferie centrale. Par exemple : La résidence du Moulin de Chennevières à Chennevières-sur-Marne...

Dans ces cas-là, un contrat d'exploitation de chauffage régit ces installations.

Pour les autres, le statut juridique de la personne morale qui possède le réseau de chaleur lors de sa création, ou à qui il sera remis à l'issue du contrat, définit si le réseau de chaleur est de nature privée ou réalisé en distribution publique.

2. Réseau de chaleur privé

Dans le cadre d'un réseau privé, le propriétaire du réseau (société immobilière, copropriété, entreprise, Entreprise Sociale pour l'Habitat...) assure seul les investissements et peut, s'il le souhaite, déléguer les travaux et/ou l'exploitation de son réseau à un exploitant.

Sur le territoire du Val-de-Marne, seuls les réseaux d'ADP (chaud et froid) utilisent ce mode de gestion. Toutefois, l'exploitation du réseau est confiée à un exploitant privé.

3. Distribution publique de chaleur

La création d'un réseau en distribution publique de chaleur par propriétaire privé, également dénommé « Autorité organisatrice » : Etat, Commune, Groupement de communes, syndicat mixte, OPH..., constitue la mise en place d'un Service Public Industriel et Commercial (SPIC).

La loi n°80-531 du 15 juillet 1980 relative aux économies d'énergie et à l'utilisation de la chaleur donne compétence aux collectivités territoriales ou groupements de collectivités territoriales pour gérer ce service public selon les dispositions du Code Général des Collectivités Territoriales (CGCT). Le service public de la chaleur est donc une compétence optionnelle des collectivités territoriales.

L'existence d'un service public de la chaleur entraîne l'application de 3 grands principes :

- Principe d'égalité entre les usagers du service public : L'égalité des usagers est respectée quand toutes les personnes placées dans la même situation sont traitées de la même façon, sans privilèges, ni discrimination. Ce principe s'applique pour l'accès au service public ainsi que pour les modalités d'utilisation et de paiement du service public. Toutefois, des différences peuvent être introduites si elles sont justifiées par des différences de situation des usagers par rapport au service.
- Principe de continuité du service public : Il implique un fonctionnement permanent du service public sauf cas de force majeure. La continuité est garantie par le dimensionnement des installations, les mesures d'entretien-maintenance et de renouvellement des installations prises par l'autorité organisatrice, ou par le gestionnaire chargé du service par l'autorité organisatrice.
- Application de tarifs qui doivent trouver leur contrepartie directe dans le service rendu aux usagers. En conséquence, les usagers du service public de chaleur n'ont pas à supporter des coûts qui ne correspondraient pas au service qui leur est rendu.

L'autorité organisatrice a le choix entre plusieurs modes de gestion pour gérer son Service Public Industriel et Commercial de chaleur. Ces modes de gestion sont présentés ci-après dans l'ordre décroissant d'implication de l'autorité organisatrice.

a) La gestion directe

Dans le système de la gestion directe, l'autorité organisatrice prend directement en charge le service et en assume pleinement le risque. Elle prend également en charge la totalité des coûts, tant d'investissement, que d'exploitation et contrôle totalement le service. L'autorité organisatrice peut passer des marchés publics afin d'exploiter le service, faire les travaux, la conception...

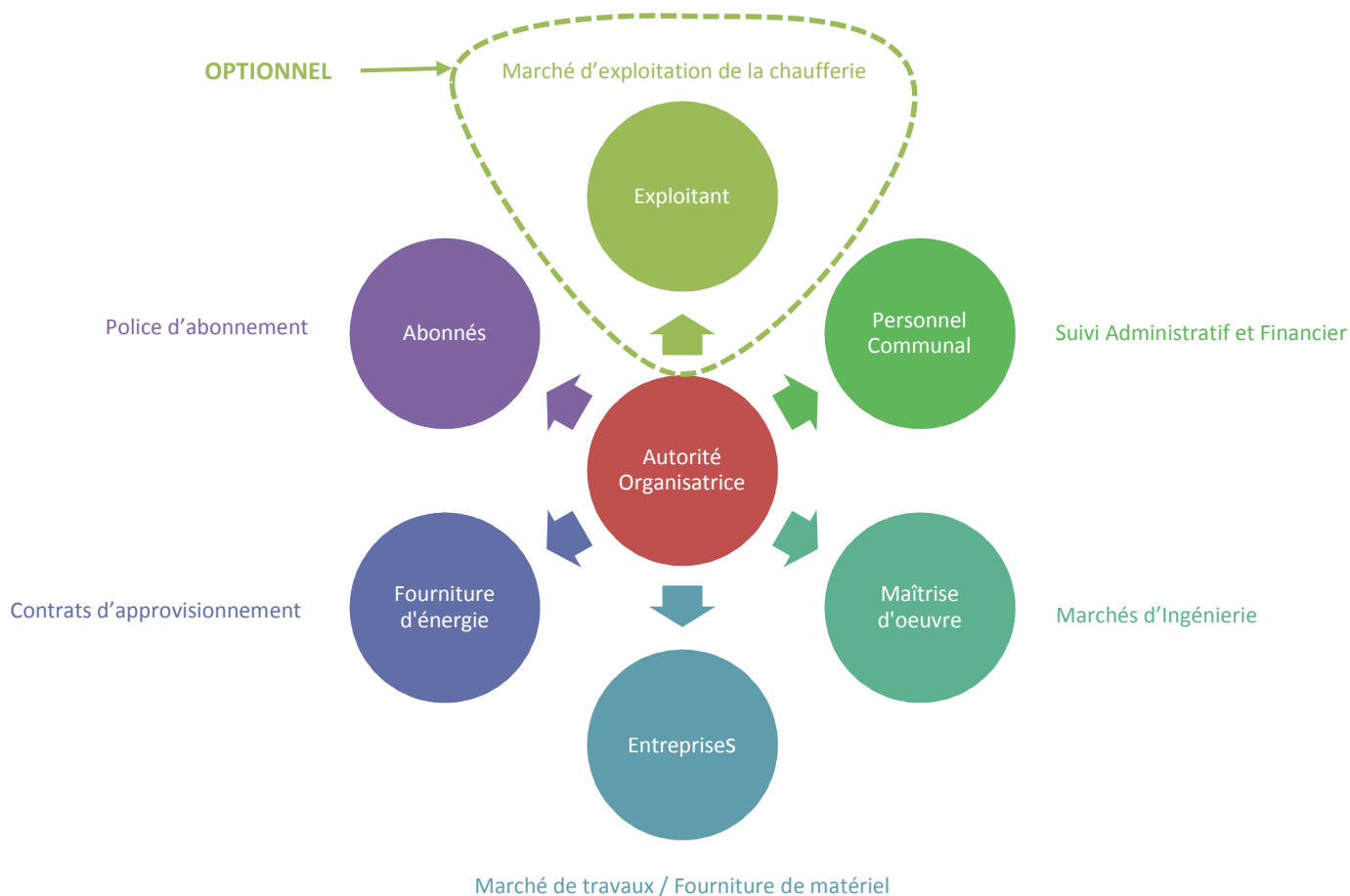


Figure 62 : Schéma de montage en gestion directe avec intégration d'un prestataire d'exploitation (optionnel)

Dans l'organisation d'une gestion directe, l'autorité organisatrice doit disposer, en interne, des compétences nécessaires :

- A la réalisation des investissements : création des chaufferies et réseau de distribution et de livraison de chaleur...
- A l'exploitation du service, au niveau technique, commercial, financier...

L'autorité organisatrice doit également créer une organisation *ad hoc* pour gérer l'exploitation du service et notamment toute la facturation (et les impayés).

Enfin, l'autorité organisatrice doit disposer de locaux pour l'administration, mais également pour le stockage de matériel.

Au niveau du montage financier d'une gestion publique, l'autorité organisatrice doit créer un budget annexe, financer les travaux (emprunt) et assumer toute l'exploitation du service.

Ce mode de gestion possède les avantages financiers suivants :

- Le TRI peut être « abaissé » (la collectivité emprunte théoriquement moins cher – à nuancer compte tenu des difficultés actuelles d'accès au crédit) mais il doit quand même intégrer un risque minimal.

Mais il dispose également des inconvénients financiers suivants :

- L'autorité organisatrice prend **TOUS** les risques financiers : elle supporte les surcoûts liés par exemple à une sous-estimation des investissements, à un rallongement des délais de mise en service, à une dérive éventuelle des charges d'exploitation.
- Par conséquent, le niveau de participation publique et/ou les tarifs de ventes qui ont été prévus au départ, n'ont rien de garanti.

La gestion directe peut se concrétiser de 3 façons différentes :

- Régie directe ou régie simple : la collectivité exploite directement le service avec le personnel municipal et prend toutes les décisions afférentes au service public.
- Régie autonome : Elle est dotée de l'autonomie de gestion avec ses propres organes de gestion et son budget annexe, rattaché au budget de l'autorité organisatrice. La Régie autonome ne possède pas de personnalité juridique propre.
- Régie personnalisée : Elle est dotée de l'autonomie financière et de la personnalité morale. Ses organes de gestion, son budget et sa comptabilité sont indépendants de l'autorité organisatrice. Son autonomie de gestion est plus importante : le directeur de la Régie est l'ordonnateur, le Conseil d'Administration et son Directeur prennent les décisions de gestion. La Régie personnalisée constitue un Etablissement Public Industriel et Commercial (EPIC). Elle peut également posséder un patrimoine propre.

C'est ce dernier mode de gestion qui a été retenu par la ville de Fontenay-sous-Bois (en 2003) pour assurer la gestion de son réseau de chaleur.

Ce mode de gestion est également envisagé par la ville de Champigny-sur-Marne à l'issue du présent contrat d'affermage (prévu en 2016). C'est dans cette optique qu'a été mis en place l'Etablissement Public Campinois de Géothermie (EPCG) en 2011. L'EPCG est actuellement l'autorité organisatrice du contrat d'affermage.

b) L'affermage

Dans le cadre de l'affermage, l'autorité délégante réalise tous les investissements et la conception des ouvrages de premier établissement. Elle en confie l'exploitation à un « fermier ». Cette exploitation se fait aux risques et périls dudit fermier. Ainsi, sa rémunération doit être substantiellement liée aux résultats de l'exploitation du service public délégué.

Le fermier dispose d'une réelle autonomie dans la prise en charge de l'activité de service public qui lui est confiée et verse une redevance importante pour la mise à disposition des ouvrages. Le fermier se rémunère par la perception de redevances sur les usagers.

Le fermier exploite le service délégué et réalise les seuls travaux de gros entretien et renouvellement auxquels s'ajoutent, pour les services publics en réseaux, les travaux de raccordement de nouveaux usagers et, dans certaines limites, les travaux d'extension de ces réseaux

En fin de contrat, les ouvrages indispensables au service constituent des biens de retour et reviennent à l'autorité délégante par principe gratuitement.

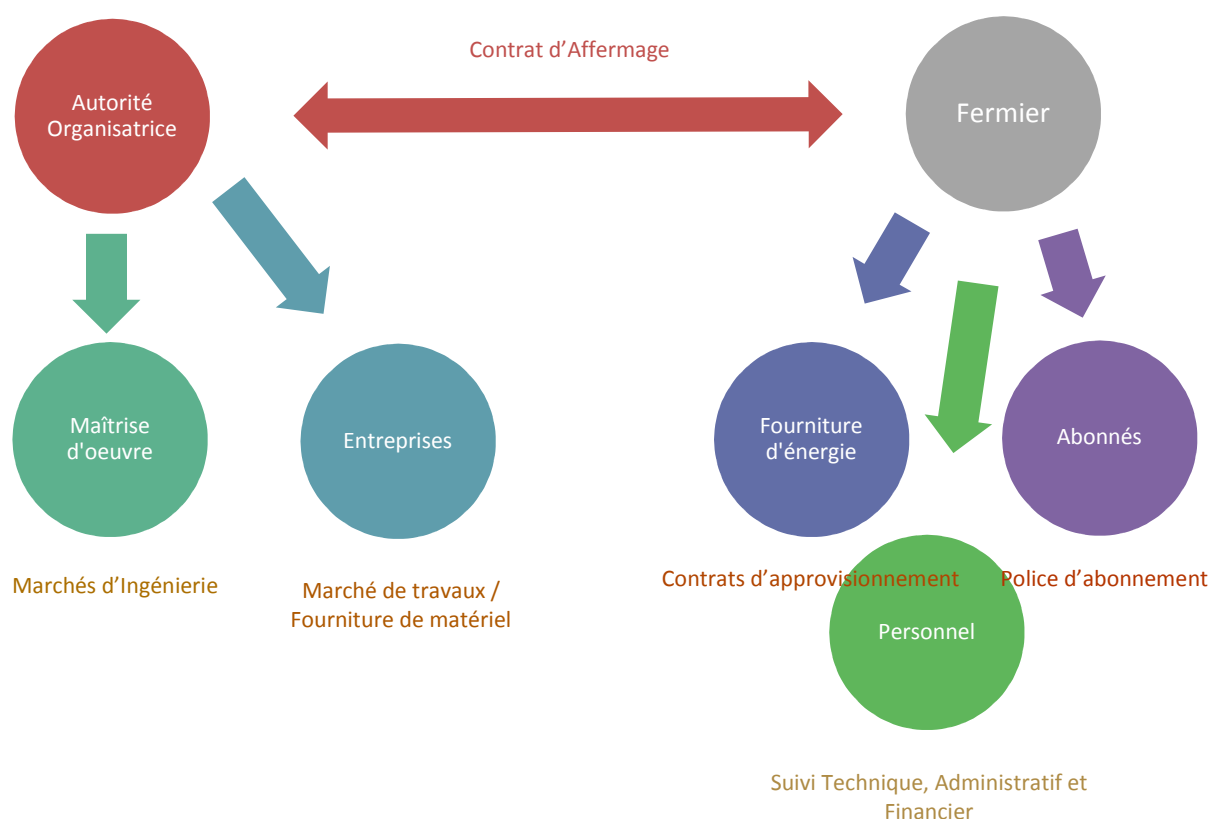


Figure 63 : Schéma de montage en gestion déléguée de type Affermage

Pour le montage organisationnel d'un affermage :

- L'autorité organisatrice est le maître d'ouvrage : elle doit disposer en interne des compétences nécessaires à la réalisation des investissements ou bien externaliser via un marché public.
- L'exploitation est totalement prise en charge par le délégataire.
- L'autorité organisatrice doit également disposer des moyens (compétences) pour concevoir et pour négocier le contrat, puis d'en suivre et d'en contrôler son exécution.

Le montage financier d'un affermage induit que :

- L'autorité organisatrice finance les travaux (emprunt), mais délègue l'exploitation.
- L'autorité organisatrice répercute l'annuité d'emprunt sur le fermier (dispositif classique de « surtaxe » ou redevance), qui à son tour la répercute dans les tarifs facturés aux usagers du service.

Au niveau des avantages financiers de montage juridique, l'autorité organisatrice emprunte théoriquement moins cher qu'un privé, mais ce point est à nuancer compte tenu des difficultés actuelles d'accès au crédit.

Parmi les inconvénients financiers d'un affermage, il est possible de citer :

- La durée de réalisation des travaux qui est potentiellement plus longue que celle prévue initialement. Ce qui, en repoussant le début de rentabilisation, renchérit l'opération.
- L'autorité organisatrice supporte plusieurs risques :
 - En phase investissement : surcoûts, retards.
 - En phase d'exploitation, risque de non-paiement de sa « surtaxe » par le délégataire → répercussion sur l'autorité organisatrice du risque de demande et/ou moyen de pression pour obtenir une renégociation du contrat.

Par conséquent, la participation publique et/ou les tarifs de vente définis au départ ne peuvent pas être garantis *a priori*.

- Les coûts de suivi de l'opération.

Le mode de gestion déléguée par Affermage a été retenu par les villes de Champigny-sur-Marne et de Créteil.

c) La concession

Dans le cadre d'une concession, l'autorité délégante confie l'intégralité du service public (travaux, financement, exploitation...) aux risques et périls du concessionnaire. Sa rémunération doit être substantiellement liée aux résultats de l'exploitation du service public délégué.

Le concessionnaire dispose d'une réelle autonomie dans la prise en charge de l'activité de service public qui lui est confiée. Il a également en charge la réalisation, le financement et l'exploitation des installations qui sont le support de ce service, en contrepartie de la perception de redevances sur les usagers. Toutefois, les tarifs de vente aux usagers peuvent être encadrés par le contrat. Le concessionnaire peut être redevable de certaines redevances auprès de l'autorité organisatrice (redevance d'occupation, redevance pour frais de contrôle).

En fin de contrat, les ouvrages indispensables au service constituent des biens de retour et reviennent à l'autorité délégante par principe gratuitement.

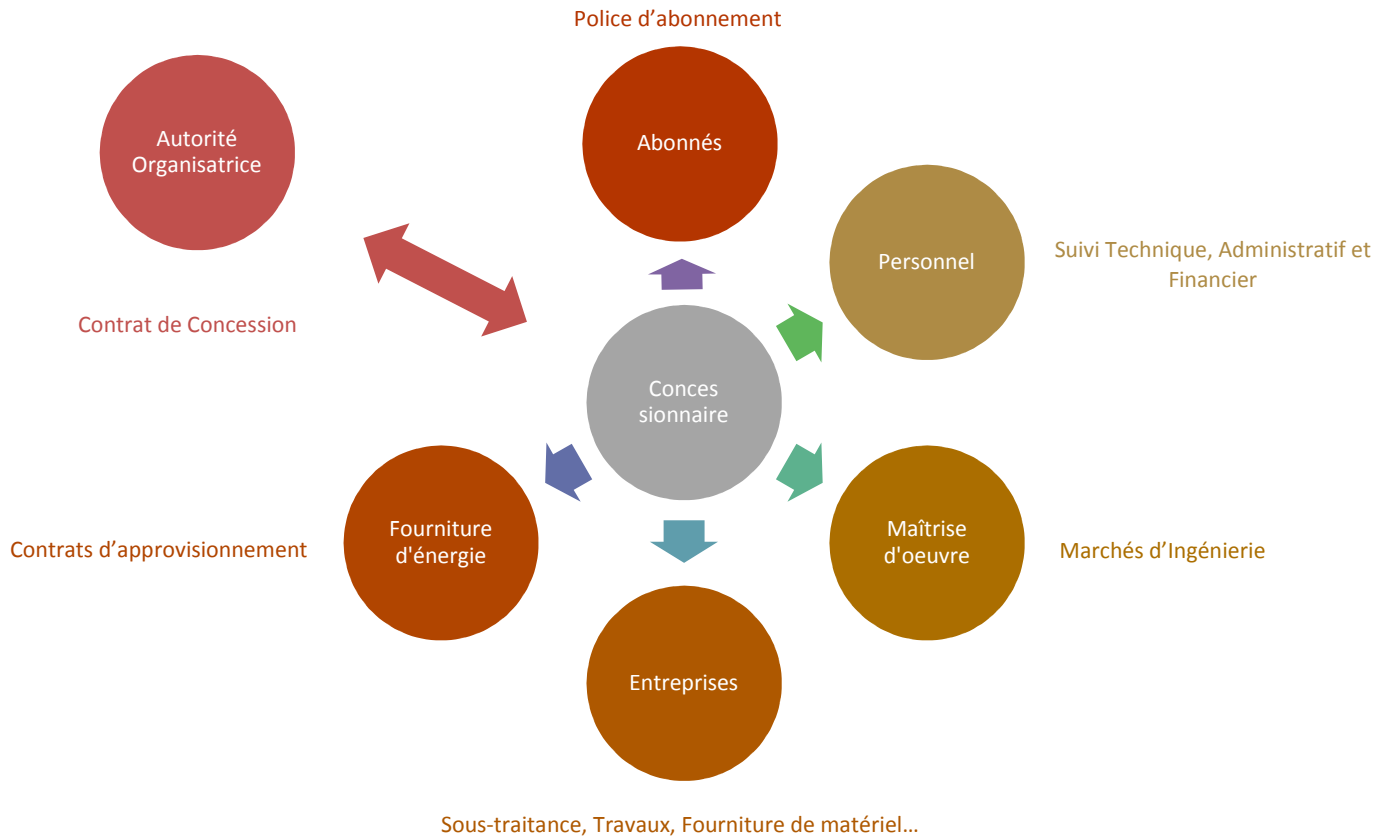


Figure 64 : Schéma de montage en gestion déléguée de type Concession

Dans le montage organisationnel d'une concession, L'autorité organisatrice doit disposer des moyens (compétences) de concevoir et de négocier le contrat puis d'en suivre et d'en contrôler l'exécution.

Pour le montage financier d'une concession de travaux publics :

- L'autorité organisatrice délègue l'intégralité du service : travaux, financement, exploitation, aux « risques et périls » du concessionnaire.
- Le principe d'exploitation est le même qu'en affermage, le délégataire devant, en outre, réaliser les investissements de premier établissement.

Les avantages financiers lors de la mise en place d'une concession sont les suivants :

- L'autorité organisatrice court un risque *a priori* minimal, ce qui signifie que les paramètres initiaux (le niveau des tarifs, ou des subventions publiques) sont mieux « garantis ».

Mais attention : en pratique « concession » ne signifie pas « transfert intégral du risque » :

- *Multiplés moyens de retour du risque vers l'autorité organisatrice : clauses de « revoyure » en cas d'aléas, non-paiement de sommes dues à l'autorité organisatrice (pénalités, redevances pour frais de contrôle, ...), intervention financière de l'autorité organisatrice en cas de dérapage de certains paramètres, ...*
- *Volet essentiel de la négociation du contrat.*

- Minimisation (mais pas neutralisation) des coûts de suivi du service.

Le principal inconvénient financier d'une concession est le fait que le TRI soit plus élevé que dans les autres modes de gestion, mais il peut être à moduler selon la répartition effective des risques (contrat).

Le mode de gestion délégué de type Concession a été choisi par les Villes d'Ivry-sur-Seine, Fresnes, Limeil-Brévannes, Sucy-en-Brie, Thiais et Villeneuve-Saint-Georges pour assurer la gestion de leurs réseaux.

La Concession a également été adoptée par les Syndicats du SIPPAREC et de la SICUCV pour les réseaux d'Arcueil-Gentilly et de Choisy-Vitry suite à la transmission par les villes de leur compétence optionnelle.

d) Comparatif et synthèse

Modes de Gestion	Montage financier	Avantages financiers	Inconvénients financiers
Gestion directe	Création d'un budget annexe L'autorité organisatrice finance les travaux (emprunt) et assume l'exploitation du service	Le TRI peut être « abaissé » car l'autorité organisatrice emprunte théoriquement moins cher qu'un privé mais à nuancer compte-tenu des difficultés actuelles d'accès au crédit	L'autorité organisatrice prend tous les risques financiers Le niveau de participation publique et les tarifs de vente prévus initialement n'ont rien de garanti
Affermage	L'autorité organisatrice finance les travaux (emprunt) et délègue l'exploitation du service Elle répercute l'annuité d'emprunt sur le fermier qui à son tour la répercute dans les tarifs facturés aux usagers du service	L'autorité organisatrice emprunte théoriquement moins cher qu'un privé mais à nuancer compte-tenu des difficultés actuelles d'accès au crédit	Une durée de réalisation des travaux potentiellement plus longue renchérit l'opération L'autorité organisatrice supporte plusieurs risques (en phase investissement et en exploitation) La participation publique et/ou les tarifs ne peuvent être garantis à priori Coûts de suivi
Concession	L'autorité organisatrice délègue l'intégralité du service Le principe d'exploitation est le même qu'en affermage, le délégataire devant en outre, réaliser les investissements de premier établissement	L'autorité organisatrice court un risque a priori minimal, ce qui signifie que les paramètres initiaux sont mieux garantis Attention concession ne signifie pas « transfert intégral du risque » Minimisation (mais pas neutralisation) des coûts de suivi du service	TRI plus élevé mais à moduler selon la répartition effective des risques (contrat)

4. Structures porteuses de l'autorité organisatrice du service public de chaleur

Dans la plupart des cas, l'autorité organisatrice du service public de chaleur est la Ville elle-même. Toutefois, il peut arriver la Ville souhaite transférer cette compétence à une structure publique qui deviendra ainsi l'autorité organisatrice du service public de la chaleur.

a) Société Publique Locale (SPL)

Le montage juridique d'une société publique locale est le suivant :

- Sociétés créées par la loi n°2010-559 du 28 mai 2010 pour le développement des sociétés publiques locales (art. L.1531-1 et s. du CGCT)
- société commerciale pouvant être créée par des collectivités territoriales et leurs groupements (EPCI, syndicats mixtes fermés ou ouverts restreints, article L. 5111-1 du CGCT) dans le cadre des compétences qui leur sont attribuées par la loi
- les entités publiques à l'origine de la création de ces sociétés en détiennent la totalité du capital
- ces SPL sont compétentes « pour exploiter des services publics à caractère industriel ou commercial ou toutes autres activités d'intérêt général »
- ces sociétés exercent leurs activités exclusivement pour le compte de leurs actionnaires et sur le territoire des collectivités territoriales et des groupements de collectivités territoriales qui en sont membres
- ces SPL peuvent ensuite être sollicitées sans procédure préalable de mise en concurrence
- par exemple, pour la gestion d'un service public, les articles L.1411-1 et s. et R.1411-1 et s. du CGCT ne s'applique pas si elle est confié à une SPL sur laquelle l'autorité organisatrice exerce un contrôle comparable à celui qu'elle exerce sur ses propres services et qui réalise l'essentiel de ses activités pour elle ou, le cas échéant, les autres personnes publiques qui contrôlent la société, à condition que l'activité déléguée figure expressément dans les statuts de l'établissement ou de la société

Le montage organisationnel et financier d'une société publique locale est équivalent à celui d'une gestion :

- Création d'une structure *ad hoc* pour gérer l'investissement et l'exploitation
- Capital minimum : entre 30 et 50 000 euros + fonds de roulement minimum pour assurer les premières années (charges d'exploitation sans rentrées de chiffre d'affaires équivalentes).
- L'autorité organisatrice actionnaire supporte tous les risques.

b) Société d'Economie Mixte (SEM)

Contrairement au SPL, les SEM sont constitués d'actionnaires publics (majoritairement et dans la limite de 85%) et d'actionnaires privés (minimum 15%, 7 actionnaires minimum).

Une SEM peut assurer l'aménagement, la construction ou l'exploitation de service publics à caractère industriel ou commercial ou de toute autre activité d'intérêt général.

Compte tenu de la présence d'actionnaires privés, une SEM doit avoir été préalablement mise en concurrence lorsque lui est délégué un service public.

c) Syndicat Intercommunal

Il peut arriver que des villes se regroupent autour d'un syndicat intercommunal pour devenir l'entité organisatrice du réseau de chaleur. Les villes auront au préalable transféré leur compétence « Réseau de chaleur » au Syndicat.

Cette solution a notamment été retenue par les villes d'Arcueil et de Gentilly, qui ont transféré leur compétence au SIPPAREC afin que celui-ci lance la réalisation du futur réseau géothermique d'Arcueil-Gentilly.

5. Synthèse

Pour la création des nouveaux réseaux de chaleur sur le territoire du Val-de-Marne (Arcueil-Gentilly, Ivry-sur-Seine Confluence et Limeil-Brévannes), le montage juridique privilégié a été la Concession.

E. 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 du Val-de-Marne 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 7 850 équivalents-logements par réseau dans le Val-de-Marne). Par ailleurs, grâce à sa très grande utilisation sur le territoire du Val-de-Marne, l'énergie géothermale permet de dépasser le seuil de 50 % d'énergies renouvelables dans le mix énergétique départemental des réseaux de chaleur.
- D'un point de vue environnemental : Ils n'utilisent de l'énergie fossile que pour l'appoint, ce qui leur permet d'afficher un contenu en CO₂ très faible.
- D'un point de vue économique : Les réseaux géothermiques sont très 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.

Le département du Val-de-Marne dispose actuellement de 13 réseaux géothermiques sur les 17 existants mais des projets sont actuellement en cours de réalisation, traduisant le dynamisme de recours aux énergies renouvelables :

- Arcueil-Gentilly : réseau de géothermie
- Limeil-Brévannes : réseau de Bois-Energie
- Ivry-sur-Seine : réseau de géothermie sur la ZAC Confluence.

Le département possède encore certaines potentialités pour développer de nouveaux réseaux à base géothermale, notamment dans le secteur Est.

Ce dynamisme de développement est en grande partie dû au contexte rendu favorable par les autorités publiques.

PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DES RESEAUX DE CHALEUR

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 d'énergie finale en 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% en ENR&R.

1. 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 (bois-énergie, géothermie, solaire, biogaz) 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, ainsi qu'à améliorer et à diversifier les sources de chauffage dans l'habitat. Ce fonds a été doté d'1 milliard d'euros pour 5 ans.

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 5 813 GWh/an d'ici 2020.

- 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 économes (consommations supérieures à 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. De plus, le Grenelle prévoit la rénovation de 400 000 logements par an à compter de 2013 et de 800 000 logements sociaux les plus économes.

- 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. ».

Cette procédure est effective depuis l'application de la RT 2012 (§ 1.B).

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

L'article 8 de la loi « Grenelle 1 » a modifié le Code de l'Urbanisme (article L128-4), 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. »

Dans les principes, les principales actions d'aménagement soumises à l'obligation d'étude EnR&R sont les suivantes :

- Zones d'aménagement concerté, permis d'aménager et lotissements situés sur le territoire d'une commune dotée, à la date du dépôt de la demande, d'un PLU ou d'un document d'urbanisme en tenant lieu ou d'une carte communale n'ayant pas fait l'objet d'une évaluation environnementale permettant l'opération :
 - Etude d'impact obligatoire si l'opération crée une SHON supérieure à 40 000 m² ou dont le terrain d'assiette couvre une superficie supérieure à 10 ha.
 - Etude « au cas par cas » si l'opération n'est pas dans le cas précédent mais crée une SHON supérieure à 10 000 m² ou couvre un terrain d'assiette supérieur à 5 ha.
- Zones d'aménagement concerté, permis d'aménager et lotissements situés, à la date du dépôt de la demande, sur le territoire d'une commune dotée, à la date du dépôt de la demande, ni d'un PLU, ni d'un document d'urbanisme en tenant lieu ni d'une carte communale.
 - Etude d'impact obligatoire si l'opération crée une SHON supérieure à 40 000 m² ou dont le terrain d'assiette couvre une superficie supérieure à 10 ha.
 - Etude « au cas par cas » si l'opération n'est pas dans le cas précédent mais crée une SHON supérieure à 3 000 m² ou couvre un terrain d'assiette supérieur à 3 ha.

2. 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.

- Ajout du Diagnostic de Performance Energétique (DPE) aux contrats de location

Les DPE sont maintenant intégrés aux contrats de location, ils sont dans un second temps transmis à l'ADEME et mentionné dans les annonces immobilières. Ils calculeront les émissions de GES et intégreront un état des risques naturels et technologiques associé au bâtiment. Ils seront obligatoires pour tous les bâtiments à chauffage ou climatisation collectifs. Ces DPE pourront d'ailleurs désormais être effectués par un salarié de la collectivité publique et seront réalisés sous un délai de 5 ans. Pour les immeubles avec un nombre de lots supérieur à 50, le DPE sera remplacé par un audit énergétique.

- Obligation de travaux et établissement d'un bail vert dans les bâtiments tertiaires

D'ici fin 2020, des travaux d'amélioration de la performance énergétique vont être effectués sur les bâtiments tertiaires (publics ou privés). De plus, désormais les baux conclus ou renouvelés portant sur des locaux de plus de 2 000 m² à usages commerciaux ou de bureaux comporteront une annexe environnementale.

- Définition de la précarité énergétique et élargissement du dispositif des CEE

« Est en situation de précarité énergétique une personne qui éprouve dans son logement, des difficultés particulières à disposer de la fourniture d'énergie nécessaire à la satisfaction de ses besoins élémentaires, en raison de l'inadaptation de ses ressources ou de ses conditions d'habitat. ». En outre,

une part des économies d'énergie réalisées dans le cadre des CEE doit être réalisée au bénéfice des ménages en situation de précarité énergétique.

3. Réalisations

En 2009, une géothermie profonde, 15 géothermies avec PAC, 37 créations de réseaux et 8 extensions ont été subventionnées pour un montant total d'environ 50 millions d'€.

Les opérations éligibles sont :

- La mise en œuvre d'une réinjection en aquifère sur une opération existante.
- 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'extension d'un réseau existant
- La densification d'un réseau existant. Le raccordement de bâtiment à proximité des réseaux pourrait entraîner une TVA réduite pour sur les factures des consommateurs, ainsi que la génération de CEE.

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

B. Réglementation Thermique de 2012

1. Présentation

Depuis la mise en place de la première réglementation thermique en 1974, la consommation énergétique des constructions neuves a été divisée par 2. Il est prévu avec la RT 2012 de diviser à nouveau par 3 ces consommations (relativement cette fois-ci à la RT 2005). La consommation $50 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2.\text{an})$, valeur moyenne du label BBC¹⁸, deviendra dorénavant la référence dans les constructions neuves ; on s'attend de même à ce que les BEPOS¹⁹ deviennent la nouvelle référence pour l'année 2020 (Cf. Figure 65).

La réglementation thermique de 2005 imposait que la consommation conventionnelle en énergie primaire soit inférieure à la consommation conventionnelle de référence²⁰. Désormais cette nouvelle réglementation vise à fixer les objectifs de performance du projet, ainsi toute nouvelle bâtisse devra respecter une valeur de consommation d'énergie primaire comprenant le chauffage, le refroidissement, l'eau chaude sanitaire, l'éclairage ainsi que les auxiliaires.

¹⁸ BBC : Bâtiment Basse Consommation.

¹⁹ BEPOS : Bâtiment à Energie Positive.

²⁰ $C_{ep} < C_{ep} \text{ max}$

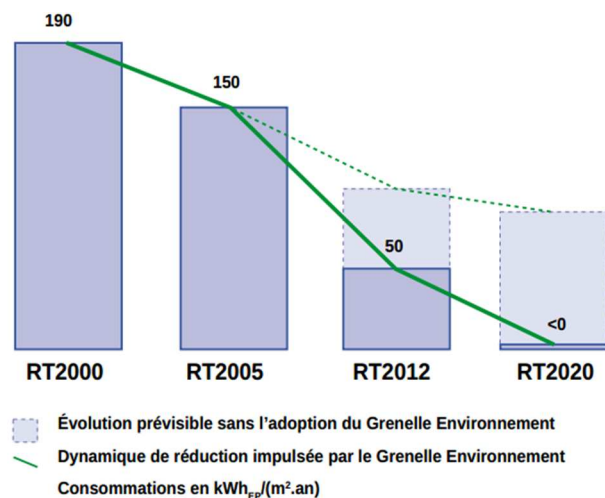


Figure 65 : Evolution des réglementations thermiques depuis la RT 2000 avec les perspectives à l'horizon 2020

2. Les 3 indicateurs de performance

a) L'indice Bbio

L'indice Bbio est une innovation de la RT 2012, il permet d'évaluer l'impact de la conception bioclimatique sur la performance énergétique du bâtiment. Cette indice reflète entre autres le niveau de conception qualitatif concernant l'optimisation de différents paramètres telles que l'orientation, les apports solaires, l'éclairage naturel, l'isolation, l'inertie thermique ou encore la mitoyenneté.

On doit alors avoir :

$$Bbio_{\text{bâtiment}} \leq Bbio_{\text{max}}$$

Le B bio_{max} se définit de la manière suivante :

$$Bbio_{\text{max}} = Bbio_{\text{max moyen}} * (M_{B \text{ Géo}} + M_{B \text{ Alt}} + M_{B \text{ Surf}})$$

Avec :

- Bbio_{max moyen} : Valeur moyenne du B bio_{max} définie par le type d'occupation du bâtiment ou de la partie de bâtiment et par catégorie CE1/CE2²¹.
- M_{B Géo} : Coefficient de modulation selon la localisation géographique
- M_{B Alt} : Coefficient de modulation selon l'altitude
- M_{B Surf} : Pour des maisons accolées ou individuelles, coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment ou de la partie concernée du bâtiment

²¹ Certains bâtiments proches de zones de bruit (aéroports, voies rapides) nécessitent des systèmes actifs de refroidissement afin d'assurer un bon confort thermique d'été les fenêtres fermées. Ces bâtiments sont alors catégorisés CE2. Tous les autres sont classés CE1.

b) L'indice Tic

L'indice Tic caractérise la température intérieure conventionnelle, il correspond selon l'article 7 de l'arrêté du 26 octobre 2010 à la « *valeur maximale horaire en période d'occupation de la température opérative* ». Cela correspond à la température la plus chaude atteinte dans les locaux au cours d'une séquence de cinq jours très chauds en été. On doit avoir :

$$Tic_{bâtiment} \leq Tic_{ref}$$

Des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'avoir un bon confort en été sans recourir à un système actif de refroidissement dépendent du type d'occupation et de la localisation.

c) L'indice Cep

L'indice Cep caractérise la consommation d'énergie primaire. La réglementation impose, comme pour les deux indices une valeur de référence à ne pas dépasser, ainsi :

$$Cep_{bâtiment} \leq Cep_{max}$$

Le Cep_{max} se définit de la manière suivante :

$$Cep_{max} = 50 * M_{C\ Type} * (M_{C\ Géo} + M_{C\ Alt} + M_{C\ Surf} + M_{C\ GES})$$

Avec :

- Cep_{max} : Consommation conventionnelle maximum d'énergie primaire
- $M_{C\ Géo}$: Coefficient de modulation selon la localisation géographique
- $M_{C\ Alt}$: Coefficient de modulation selon l'altitude
- $M_{C\ Surf}$: Pour des maisons accolées ou individuelles, coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment ou de la partie concernée du bâtiment
- $M_{C\ GES}$: Coefficient de modulation selon les émissions de GES des énergies utilisées, pour le bois-énergie et les réseaux de chaleur et de froid faiblement émetteur de CO₂.

Le Cep_{max} de base est de 50 kWh/(m².an), toutefois, les réseaux de chaleur avec de faibles émissions de CO₂ pourront bénéficier d'une certaine modulation selon les critères suivants :

- + 30% pour les réseaux dont le contenu CO₂ est inférieur ou égal à 50g/kWh
- + 20% pour les réseaux dont le contenu CO₂ est supérieur à 50g/kWh et inférieur ou égal à 100g/kWh
- + 10% pour les réseaux dont le contenu CO₂ est supérieur à 100g/kWh et inférieur ou égal à 150g/kWh

La RT 2012 préconise ainsi la solution d'être raccordé à un réseau de chaleur alimenté à plus de 50% par une EnR&R et aussi d'autres telles que :

- Produire de l'ECS à partir de panneaux solaires thermiques

- Démontrer que la contribution aux EnR&R dans le bâtiment est supérieure ou égale à 5 kWh/(m².an).

La modulation du coefficient du C_{ep} max pour les réseaux de chaleur peu émissifs s'inscrit dans une logique à double objectif ; sobriété énergétique et réduction des émissions. Elle peut donc permettre à des bâtiments de consommer plus à conditions que cela n'empêche pas, d'autre part, de réduire les émissions de GES. Cette réflexion nous propulse petit-à-petit vers une indépendance à la raréfaction des énergies fossiles et nucléaires.

C. Documents d'aménagement prospectifs du territoire

1. Schéma Régional Climat, Air et Energie (SRCAE) de l'Ile-de-France

Le SRCAE a été instauré par les grenelles I & II et vise à définir les orientations à suivre dans chaque région en termes de protection de l'environnement (maîtrise de l'efficacité énergétique, lutte contre la pollution atmosphérique, développement des énergies renouvelables...).

Le SRCAE prend en considération différents documents de planification nationaux ou territoriaux en lien avec l'air, le climat et l'énergie déjà en place.

Voici comment le SRCAE est articulé en Ile-de-France :

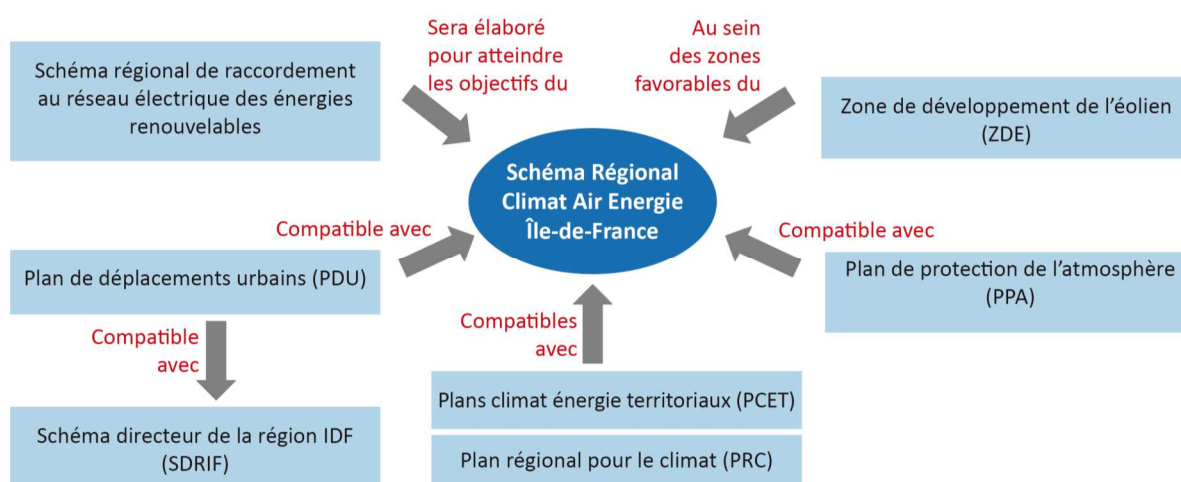


Figure 66 : Articulation du SRCAE autour des documents de planification régionaux (Source : SRCAE IDF)

Le SRCAE de l'Ile-de-France définit ainsi trois grandes priorités régionales pour 2020 :

- le renforcement de l'efficacité énergétique des bâtiments avec un objectif de doublement du rythme des réhabilitations dans le tertiaire et de triplement dans le résidentiel,
- le développement du chauffage urbain alimenté par des énergies renouvelables et de récupération, avec un objectif d'augmentation de 40 % du nombre d'équivalents logements raccordés,

- la réduction de 20 % des émissions de gaz à effet de serre du trafic routier, combinée à une forte baisse des émissions de polluants atmosphériques (particules fines, dioxyde d'azote).

Le SRCAE contient des objectifs chiffrés spécifiques à chaque secteur pour atteindre les objectifs du 3x20 et positionner la région dans une dynamique d'atteinte du Facteur 4. Les principaux objectifs du SRCAE à 2020 sont les suivants :

- **Bâtiments**

- Améliorer la qualité des rénovations pour atteindre 25 % de réhabilitations de type BBC (Bâtiment Basse Consommation),
- Réhabiliter 125 000 logements par an soit une multiplication par 3 du rythme actuel,
- Réhabiliter 7 millions de mètres carré de surfaces tertiaires par an soit une multiplication par 2 du rythme actuel,
- Raccorder 450 000 logements supplémentaires au chauffage urbain (soit + 40 % par rapport à aujourd'hui),
- Réduire progressivement le fioul, le GPL et le charbon avec une mise en place de solutions alternatives performantes pour les énergies de chauffage,
- Réduire de 5 % les consommations énergétiques par des comportements plus sobres.

- **Energies renouvelables et de récupération**

- Augmenter de 30 % à 50 % la part de la chaleur distribuée par les réseaux de chaleur à partir d'énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) : Usine d'incinération d'ordures ménagères, géothermie, biomasse...,
- Augmenter la production par pompes à chaleur de 50 %,
- Multiplier par 7 la production de biogaz valorisé sous forme de chaleur, d'électricité ou par injection directe sur le réseau gaz de ville,
- Installer 100 à 180 éoliennes,
- Equiper 10 % des logements existants en solaire thermique,
- Passer de 15 à 520 MWe pour le solaire photovoltaïque,
- Stabiliser les consommations de bois individuelles grâce à l'utilisation d'équipements plus performants,
- Stabiliser la production d'agrocarburants.

- **Transports**

- Réduire de 2 % les trajets en voiture particulière et en deux-roues motorisés,
- Augmenter de 20 % les trajets en transports en commun,
- Augmenter de 10 % les trajets en modes de déplacement actifs (marche, vélo...),
- Passer à 400 000 véhicules électriques ou hybrides rechargeables.

Ces objectifs chiffrés sont ensuite déclinés par secteurs avec définition des principales orientations à retenir. Les secteurs du Bâtiment et des Energies Renouvelables et de Récupération concentrent les principaux objectifs et orientations retenus pour les réseaux de chaleur.

a) Secteur du Bâtiment

L'objectif du SRCAE est d'encourager, avant même la réalisation de travaux lourds, la sobriété énergétique dans les bâtiments et de garantir la pérennité de leurs performances thermiques. Ainsi, l'amélioration des comportements par l'adoption de gestes simples et la bonne exploitation des bâtiments constituent des leviers fiables et faciles à mobiliser pour réduire sensiblement les consommations énergétiques de ce secteur.

La rénovation thermique des bâtiments existants est considérée par le SCRAE comme incontournable afin d'atteindre les objectifs aux horizons 2020 et 2050 en matière de réduction de la consommation d'énergie et de gaz à effet de serre. Les logements anciens, principalement ceux construits avant 1975 (date de la première réglementation thermique), sont particulièrement énergivores et sont ceux qui possèdent les potentiels de réduction des consommations énergétiques les plus importants grâce à l'isolation extérieure ou intérieure.

Le remplacement des équipements énergétiques constitue un autre levier essentiel pour la réduction des consommations énergétiques et donc des émissions de gaz à effet de serre grâce à l'amélioration des rendements des appareils et à la substitution énergétique. Ceci permet de remplacer des énergies fortement émettrices par d'autres énergies qui le sont moins (du fioul par du gaz par exemple, ou, mieux encore, par les énergies renouvelables). L'objectif à l'horizon 2020 sera une disparition progressive du fioul, du GPL et du charbon.

Le développement du chauffage urbain est l'enjeu prioritaire et stratégique pour permettre une valorisation à grande échelle des énergies renouvelables et de récupération sur les territoires (géothermie, biomasse, UIOM notamment). **Le SRCAE vise une augmentation de 40 % d'équivalents logements raccordés aux réseaux de chaleur (passage de 1,1 million à 1,55 million d'équivalents logements).**

Les objectifs retenus dans le SRCAE pour les bâtiments sont de réduire de 17 % les consommations énergétiques du secteur d'ici 2020, et de 50 % à horizon 2050. Cela permet d'aller, pour ce secteur, plus loin que l'objectif du Facteur 4.

N°	OBJECTIFS	N°	ORIENTATIONS
BAT 1	Encourager la sobriété énergétique dans les bâtiments et garantir la pérennité des performances	BAT 1.1	Développer la sensibilisation et l'information des utilisateurs à la sobriété énergétique
		BAT 1.2	Optimiser la gestion énergétique des systèmes et des bâtiments via une maintenance adaptée et des mesures de suivi
		BAT 1.3	Permettre une meilleure rationalisation de l'usage des bâtiments pour réduire les surfaces à chauffer
BAT 2	Améliorer l'efficacité énergétique de l'enveloppe des bâtiments et des systèmes énergétiques	BAT 2.1	Améliorer et accentuer le conseil afin de promouvoir des travaux ambitieux de réhabilitation de l'enveloppe des bâtiments et les systèmes énergétiques les plus efficaces
		BAT 2.2	Permettre aux professionnels d'améliorer leurs pratiques et évaluer la qualité de mise en œuvre des travaux
		BAT 2.3	Mobiliser les outils financiers existants et développer des approches innovantes de financement
		BAT 2.4	Orienter, permettre et valoriser des opérations exemplaires et reproductibles
		BAT 2.5	Diminuer les consommations d' « énergie grise » des matériaux utilisés dans le bâtiment

Figure 67 : Synthèse des objectifs et orientations retenus ans le cadre du SCRAE pour le secteur du Bâtiment

b) Secteur des Energies Renouvelables et de Récupération

L'objectif prioritaire et stratégique du SRCAE, pour permettre une valorisation à grande échelle des énergies renouvelables et de récupération sur les territoires, passe par le développement du chauffage urbain. Deux directions parallèles doivent être suivies à cet effet :

- D'une part, des orientations visent à stimuler et à renforcer le développement des réseaux de chaleur par densification, extension de réseaux existants ou création de nouveaux réseaux. Les collectivités territoriales, qui ont la compétence en ce qui concerne la distribution de chaleur, ont un rôle fondamental à jouer en la matière.
- D'autre part, il convient d'assurer l'essor des différentes filières pouvant être valorisées par les réseaux de chaleur (énergies de récupération, géothermie, biomasse).

Les potentiels d'énergies renouvelables et de récupération mobilisables à l'horizon 2020 permettent de multiplier par deux la production actuelle. En considérant les efforts conjugués sur l'efficacité énergétique, cela permettrait de couvrir 11 % de la consommation en 2020. Cette valeur n'atteint pas l'objectif national de 23 %, il n'en demeure pas moins ambitieux pour chaque filière au regard des caractéristiques du territoire francilien. Celles-ci limitent, en effet, le développement de certaines énergies renouvelables comme l'hydraulique ou l'éolien par rapport à d'autres régions.

N°	OBJECTIFS	N°	ORIENTATIONS
ENR 1	Densifier, étendre et créer des réseaux de chaleur et de froid en privilégiant le recours aux énergies renouvelables et de récupération	ENR 1.1	Déployer des outils en région et sur les territoires pour planifier et assurer le développement du chauffage urbain
		ENR 1.2	Optimiser la valorisation des énergies de récupération et favoriser la cogénération sur le territoire
		ENR 1.3	Encourager le développement et l'exploitation durable des géothermies
		ENR 1.4	Assurer une mobilisation et une utilisation cohérentes de la biomasse sur le territoire avec des systèmes de dépollution performants
ENR 2	Favoriser le développement des énergies renouvelables intégrées au bâtiment	ENR 2.1	Accélérer le développement des pompes à chaleur géothermales et aérothermiques
		ENR 2.2	Accompagner le développement des filières solaires thermique et photovoltaïque
		ENR 2.3	Mettre en place les conditions permettant au chauffage domestique au bois d'être compatible avec les objectifs de la qualité de l'air
ENR 3	Favoriser le développement d'unités de production d'ENR électrique et de biogaz sur les sites propices et adaptés	ENR 3.1	Favoriser la création de ZDE dans les zones favorables définies dans le SRE
		ENR 3.2	Améliorer la connaissance du potentiel et mettre en place les conditions nécessaires à un développement de la méthanisation
		ENR 3.3	Favoriser le développement de centrales photovoltaïques sur des sites ne générant pas de contraintes foncières supplémentaires

Figure 68 : Synthèse des objectifs et orientations retenus ans le cadre du SCRAE pour le secteur des Energies Renouvelables et de Récupération

Au travers des différents secteurs évoqués ci-dessus, le SCRAE définit clairement comme enjeu prioritaire et stratégique, le développement des réseaux de chaleur afin de respecter les engagements de la France sur les plans international (Protocole de Kyoto) et européen (paquet Climat/Energie).

2. Plan-Climat du département du Val-de-Marne

Le département du Val-de-Marne, en collaboration avec le Conseil Général du Val-de-Marne (CG94), souhaite mettre en place un Plan Climat Energie territorial dans le but de proposer une alternative aux deux problématiques qui sont le dérèglement climatique et la production énergétique.

Ces questions étant indissociables car interdépendantes, elles nous amènent progressivement par les solutions qui vont permettre de réduire, à terme, les émissions de gaz à effet de serre (GES) et de se préparer à la raréfaction imminente de certaines ressources.

Les secteurs les plus énergivores sont bien sûr les transports, l'énergie utilisée pour le chauffage des bâtiments ainsi que les activités industrielles. A ce titre, le département du Val-de-Marne a mis en place cinq axes majeurs d'action :

- Réduire les émissions de GES : dans le but de réduire de 20% à l'horizon 2020 les émissions de GES par rapport à 2010, le Val-de-Marne a déjà commencé le lancement de projets écologiques tels que des écoles à « énergie positive », l'amélioration de l'isolation des logements dans les opérations de rénovation urbaine mais aussi l'optimisation de l'efficacité énergétique des bâtiments départementaux.
- Lutter contre la précarité énergétique : certains val-de-marnais rencontrent encore des difficultés à se chauffer à coûts abordables et se trouvent alors dans des situations de « précarité énergétique ». Ceci peut entraîner des conséquences néfastes et notamment sanitaires (maladies respiratoires, surmortalité hivernale...).
- Encourager la sobriété énergétique : la raréfaction progressive des énergies fossiles va entraîner une augmentation certaine du coût de l'énergie dans les foyers et certaines solutions à bas coût telles que le charbon entraîneraient *a contrario* une augmentation des émissions de GES induites. Cet axe de travail conseille donc de plébisciter une diminution de la consommation des foyers, plutôt que de produire plus pour pallier à la demande croissante.
- Développer les énergies renouvelables accessibles pour tous : ces énergies sont nettement moins émettrices de GES que les autres sources d'énergies et de plus leur développement donnerait un tremplin aux métiers de l'énergie. Le Val-de-Marne mise déjà beaucoup sur la géothermie, mais commence à envisager d'autres solutions telles que le bois-énergie, l'installation de panneaux solaires thermiques, l'incinération de déchets ménagers ou bien encore des systèmes de récupération de chaleur sur les eaux usées et Data Centers.
- Adopter notre territoire et notre économie au dérèglement climatique : les changements climatiques engendrés par nos habitudes de consommation sont maintenant à maîtriser et il faut donc préparer notre environnement à d'éventuels phénomènes extrêmes (tempêtes, crues, canicules...etc.). De nouveaux « éco-emplois » pourraient alors être créés en misant fortement sur l'activité des associations de défense de l'environnement.

Toutes ces dispositions montrent à quel point il sera important, dans un futur proche, de mixer les réseaux de chaleur avec les énergies renouvelables pour la consommation urbaine. Cet état des lieux,

très favorable, nous indiquent un grand potentiel de poursuite de l'investissement effectué depuis lors sur le département.

3. Les contrats de développement territoriaux (CDT)

Les contrats de développement territoriaux (CDT) ont comme objectif de mettre en œuvre un développement urbain sur des ensembles de territoires déterminés comme stratégiques et tout particulièrement en adéquation avec le réseau de transport public du Grand Paris. Ces CDT sont définis dans la loi du 3 juin 2010 relative au Grand Paris et modifié par la loi du 18 janvier 2013 relative à la mobilisation du foncier public en faveur du logement.

Les CDT doivent préciser le nombre de logements à construire (cf. Figure 72), mentionner les ZAD²², établir un calendrier de réalisation des opérations d'aménagement des transports :

- Grand Paris Express (GPE) : Le tracé définitif du Grand Paris qui doit ceinturer la capitale a été officiellement établi lors de la signature du protocole le 26 janvier 2013 entre l'Etat et le Conseil Général du Val-de-Marne.
- Rôle du CCIP²³ Val-de-Marne : Le CCIP du Val-de-Marne, en tant qu'acteur du développement économique est fortement impliqué dans l'élaboration des CDT en lien avec les projets d'aménagement autour des gares et métros qui seront nouvellement créés.
- Développement des logements intermédiaires : L'objectif est de développer l'intérêt des entreprises et des particuliers auprès des collectivités locales afin de rendre les lieux de travail plus accessibles aux salariés et ainsi pouvoir améliorer les conditions générales de vie des citoyens.
- Dans le Val-de-Marne, des intercommunalités ont déjà été instaurés sur le territoire, cependant elles ne sont qu'effectives qu'à l'intérieur du département (Cf. Figure 70 : Communautés d'Agglomération (CA) et Communautés de Communes (CC) du Val-de-Marne). En revanche, les CDT s'étendent sur des espaces plus grands que les simples départements (Cf. Figure 69 : Communes du Val-de-Marne participant à un Contrat de Développement Territorial (CDT)).

²² ZAD : Zone d'Aménagement Différés: secteur où une collectivité locale ou une SEM disposant d'une convention d'aménagement dispose d'un droit de préemption sur les ventes pour une durée de 6 ans.

²³ CCIP : Chambre du Commerce et de l'Industrie de Paris.

Contrats de développement territorial

- CDT Coeur Descartes
- CDT Paris Est
- CDT Grand Orly
- CDT Campus Sciences et Santé
- CDT Grandes Ardoines
- CDT Boucles de la Marne
- CDT Descartes Nord

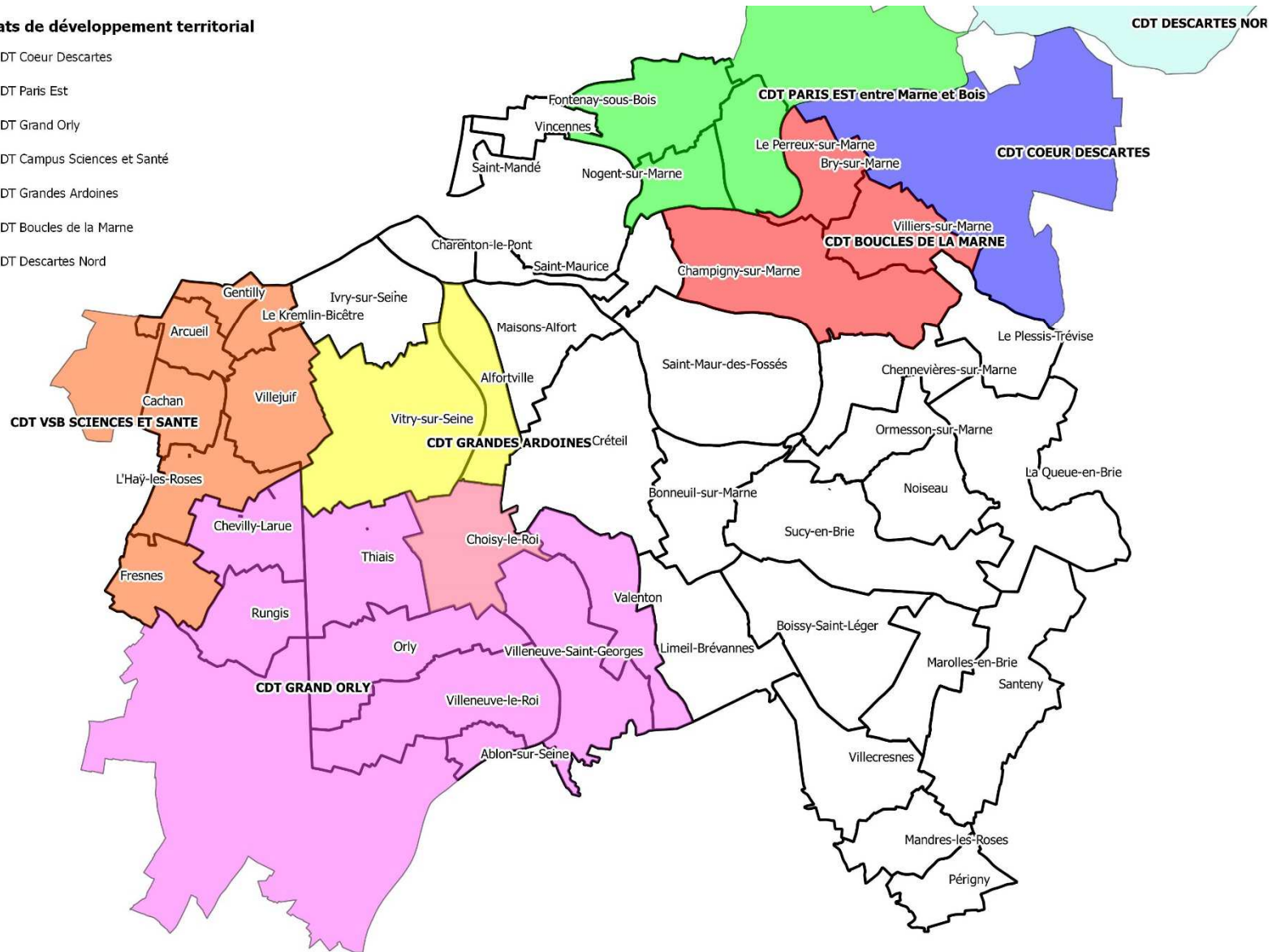


Figure 69 : Communes du Val-de-Marne participant à un Contrat de Développement Territorial (CDT)

Communautés d'agglomérations et communautés de communes

- CA Plaine Centrale
- CA Haut Val-de-Marne
- CA Seine Amont
- CA Val de Bièvre
- CA Vallée de la Marne
- CC Charenton/Saint-Maurice
- CC Plateau Briard

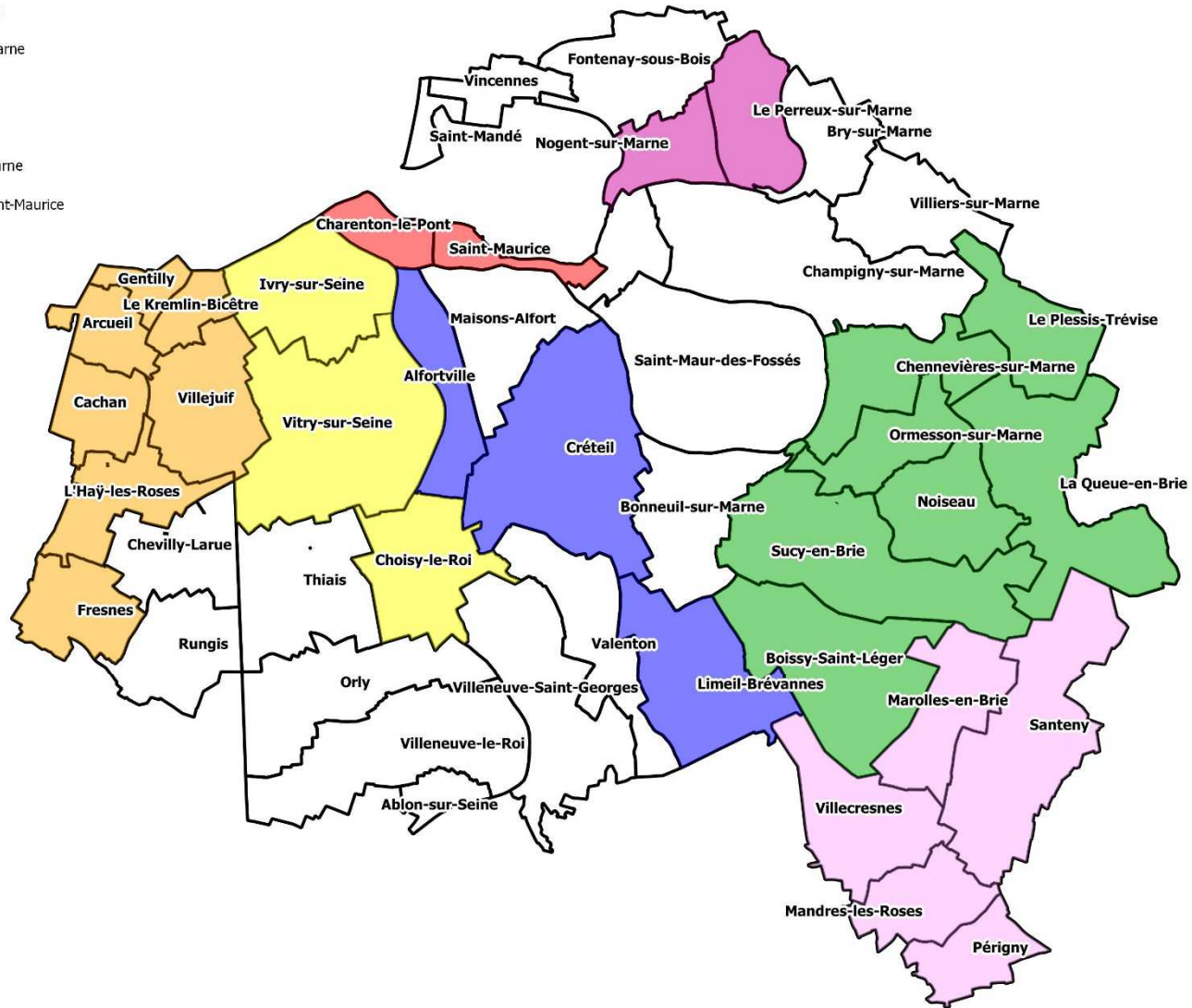


Figure 70 : Communautés d'Agglomération (CA) et Communautés de Communes (CC) du Val-de-Marne

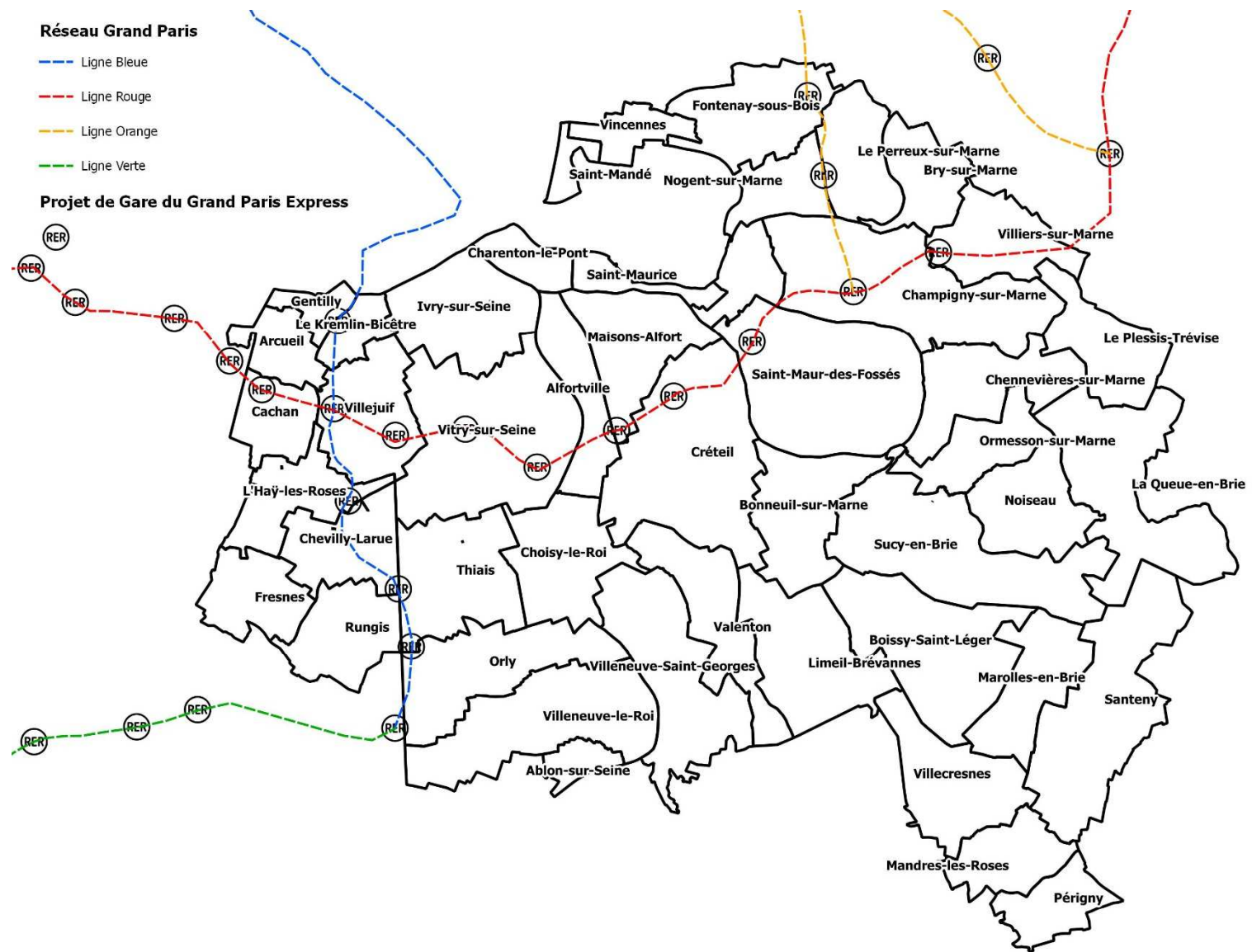


Figure 71 : Tracé prévisionnel du Grand Paris Express avec les Gares prévisionnelles

INSEE	Nom comm	Nom CDT	N° CDT	Pop 2012	Construct logts 2008	Constr en %	Object log/an	Obj logt/an par comm
94015	Bry-sur-Marne	Boucles de la Marne	12	15 510	63	19%	655	122
94017	Champigny/Marne	Boucles de la Marne	12	75 772	132	39%		256
94019	Chennevières/M	Boucles de la Marne	12	18 261	8	2%		16
94079	Villiers-sur-Marne	Boucles de la Marne	12	27 545	135	40%		262
	TOTAL CDT			137 088	338			
94001	Ablon-sur-Seine	Grand Orly	15	5 187	1	0%	2600	4
91027	Athis-Mons	Grand Orly	15	30 393	121	20%		528
94021	Chevilly-Larue	Grand Orly	15	18 888	1	0%		4
91326	Juvisy-sur-Orge	Grand Orly	15	14 634	3	1%		13
94054	Orly	Grand Orly	15	21 151	92	15%		401
91479	Paray-Vieille-Poste	Grand Orly	15	7 111	4	1%		17
94065	Rungis	Grand Orly	15	5 709	43	7%		188
94073	Thiais	Grand Orly	15	29 819	104	17%		454
94074	Valenton	Grand Orly	15	12 349	6	1%		26
94077	Villeneuve-le-Roi	Grand Orly	15	18 596	65	11%		284
94078	Villeneuve-St-G	Grand Orly	15	31 278	25	4%		109
91432	Morangis	Grand Orly	15	12 136	9	2%		39
91689	Wissous	Grand Orly	15	5 805	122	20%		532
	TOTAL CDT			213 056	596	100%		
94002	Alfortville	Grandes Ardoines	16	44 517	54	7%	1390	91
94081	Vitry-sur-Seine	Grandes Ardoines	16	86 159	544	66%		912
94022	Choisy-le-Roi	Gd Orly et Grdes Ard	155	39 743	231	28%		387
	TOTAL CDT			170 419	829	100%		
94033	Fontenay-sous-Bois	Paris Est Marne et Bois	11	53 776	6	2%	1370	21
94058	Le Perreux/Marne	Paris Est Marne et Bois	11	32 487	61	15%		211
93049	Neuilly-Plaisance	Paris Est Marne et Bois	11	20 683	13	3%		45
94052	Nogent-sur-Marne	Paris Est Marne et Bois	11	31 279	118	30%		407
93064	Rosny-sous-Bois	Paris Est Marne et Bois	11	41 431	199	50%		687
	TOTAL CDT			179 656	397	100%		
94003	Arcueil	VSB - Sciences et Santé	14	19 716	43	7%	1700	121
92007	Bagneux	VSB - Sciences et Santé	14	38 495	303	50%		856
94016	Cachan	VSB - Sciences et Santé	14	28 078	35	6%		99
94034	Fresnes	VSB - Sciences et Santé	14	25 577	3	0%		8
94037	Gentilly	VSB - Sciences et Santé	14	17 612	1	0%		3
94043	Le Kremlin-Bicêtre	VSB - Sciences et Santé	14	26 551	12	2%		34
94038	L'Haÿ-les-Roses	VSB - Sciences et Santé	14	30 154	18	3%		51
94076	Villejuif	VSB - Sciences et Santé	14	55 641	187	31%		528
	TOTAL CDT			241 824	602	100%		
	Total				2762			7715

Figure 72 : Objectifs de construction de logements inscrits au CDT actuellement en vigueur dans le département du Val-de-Marne.

4. Opération d'Intérêt National (OIN)

Dans le Centre du département, le territoire d'Orly/Rungis/Seine-Amont regroupe 12 communes (Cf. Figure 73) sur un espace de 71 km², 335 000 habitants et près de 160 000 emplois. Ce regroupement fait alors l'objet d'une Opération d'Intérêt National (OIN), ces dernières créées par le décret du 10 mai 2007.

Ce territoire est situé au centre de 3 zones de développement (Paris au Nord, la Plaine Centrale du Val-de-Marne à l'Est et le pôle Orly/Rungis au Sud-est. Il dispose également d'importantes surfaces à urbaniser dans les prochaines années avec notamment avec le réseau de desserte composé du RER, de l'A86 ou encore de la N7. Enfin, cet espace regorge d'un tissu économique dynamique avec d'un côté des équipements et services essentiels tels que le MIN²⁴ de Rungis ou encore l'aéroport de Paris et d'un côté un pôle de développement intéressant tels que Sanofi-Aventis, l'INRA, Medicen...etc.

C'est l'EPA ORSA²⁵, qui est chargé de piloter l'ensemble des aménagements qui seront effectués ce territoire. Le projet est d'ores et déjà entamé avec :

- Le lancement d'études en vue d'étudier certaines perspectives économiques (notamment le recours aux biotechnologies sur le secteur des Vitry-Ardoines/Alfortville-Sud)
- Le lancement d'études urbaines sur des secteurs afin d'aboutir à des schémas par secteur
- Le lancement d'études sur les devenir des dépôts pétroliers (présents notamment à Vitry-sur-Seine et Villeneuve-le-Roi)

Dans le cadre de la présente étude, il est à signaler que l'EPA ORSA sera un interlocuteur privilégié, par le biais des opérations d'aménagement, pour favoriser le développement de nouveaux réseaux de chaleur sur le territoire des communes concernées. Ce développement doit se faire en coordination avec les entités organisatrices actuellement propriétaires de réseaux existants.

5. Reconversion de l'ancienne voie de desserte orientale (VDO)

L'ancienne voie de desserte orientale, ce délaissé autoroutier a pour vocation de devenir un axe de développement apportant une liaison urbaine transversale Nord-Sud y associant habitat, emplois et équipements.

Ce secteur étendu sur la longueur s'étend sur 1,2 km² (15 km de long sur 80 m de large) et traverse les villes de Bry-sur-Marne, Champigny-sur-Marne et Villiers-sur-Marne, Chennevières-sur-Marne, Ormesson-sur-Marne et Sucy-en-Brie. Cette emprise devait à la base accueillir une liaison autoroutière entre l'A4 et la N6 puis l'A6 ; ce projet étant maintenant abandonné, il constitue un une zone à fort potentiel de développement (Cf. Figure 74 : Secteurs concernés par le réaménagement de l'Ex Voie de Desserte Orientale).

²⁴ MIN : Marché d'Intérêt National.

²⁵ Etablissement Public d'Aménagement d'Orly-Rungis - Seine-Amont.

Ce secteur sera aménagé commune par commune, sauf si celles-ci participent à un CDT où une vision globale sera donnée à l'opération (ex : CDT des Boucles de la Marne pour la partie Nord de la VDO).

Périmètre de l'Opération d'Intérêt National

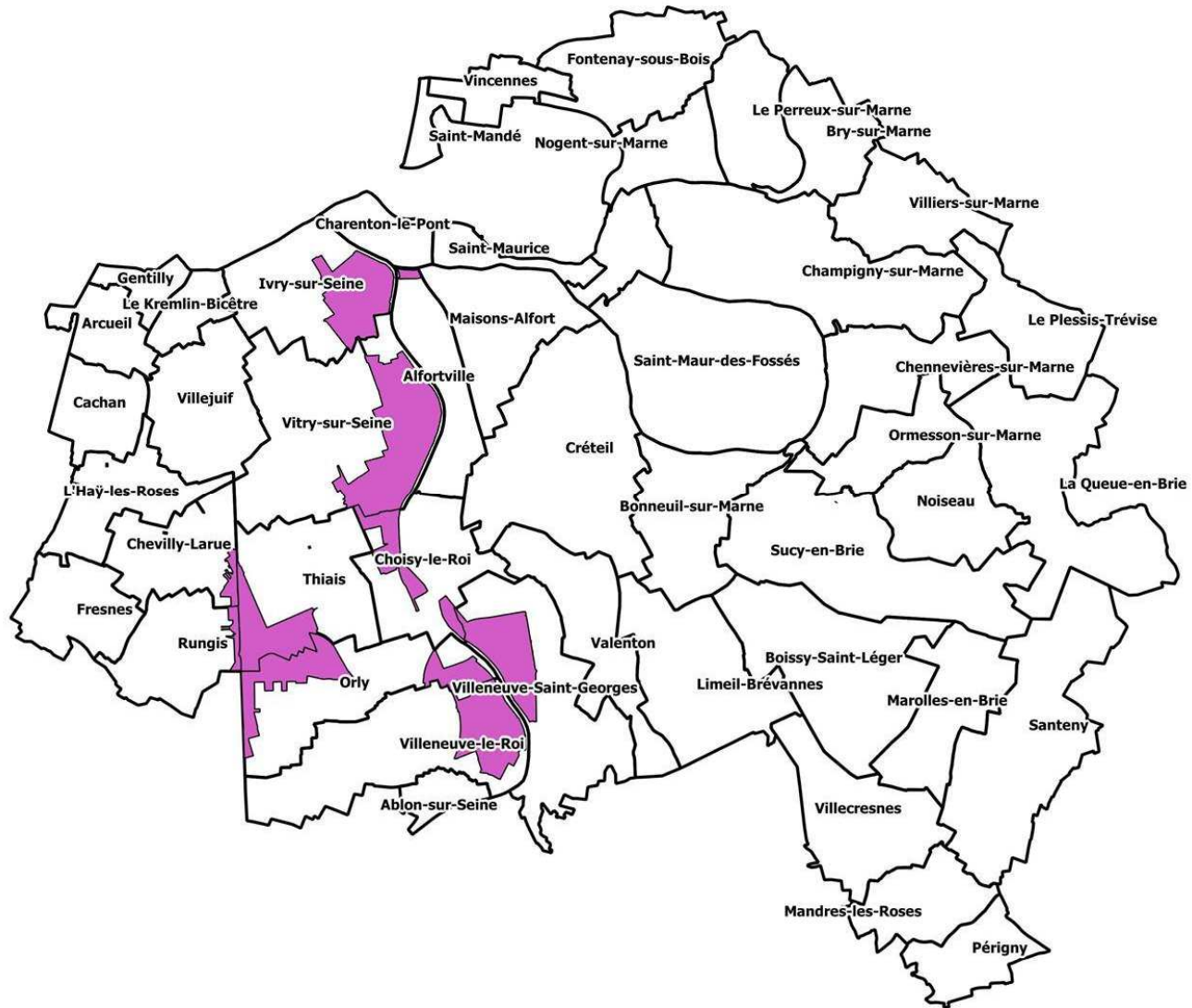


Figure 73 : Périmètre de l'Opération d'Intérêt National

Ex-Voie de Desserte Orientale

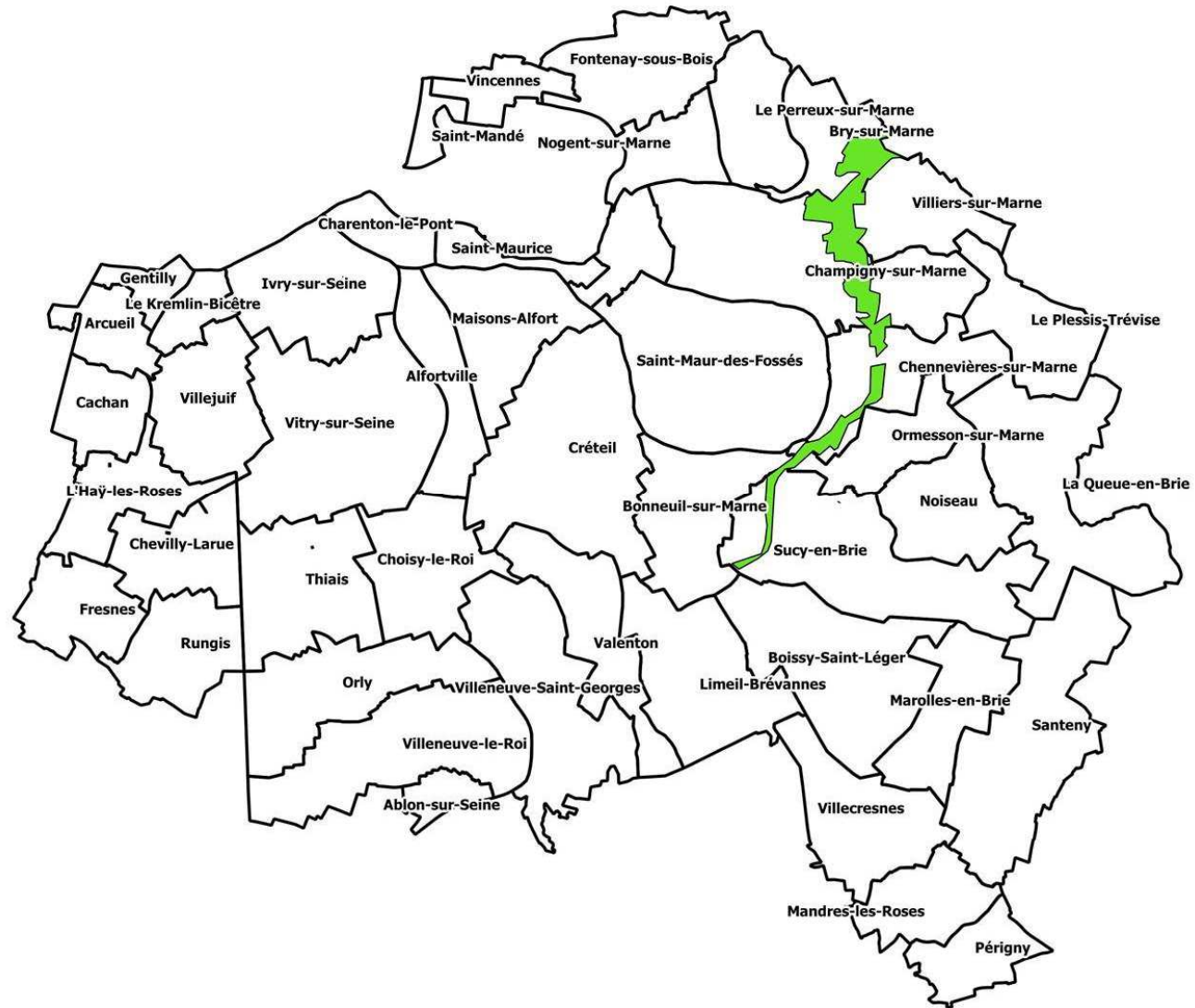


Figure 74 : Secteurs concernés par le réaménagement de l'Ex Voie de Desserte Orientale

D. Aspect financier de la réglementation

- 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 (EnR&R)* »

2. Potentialités du Val-de-Marne

A. *Développement de la méthode de criblage*

1. Méthode de criblage pour les nouvelles opérations de géothermie profondes

L'objectif de cette partie est de cerner les zones d'adéquation entre la ressource sous-sol et sa valorisation en surface afin de proposer la réalisation de nouvelles opérations sur le département.

Pour se faire, une méthode de criblage des communes a été mise au point.

a) Evaluation du potentiel géothermique au Dogger

L'évaluation du potentiel géothermique du Dogger dans le Val-de-Marne repose les caractéristiques intrinsèques de l'aquifère (profondeur, épaisseur productrice, température, porosité, salinité, perméabilité). Parmi celles-ci, deux présentent un caractère prioritaire dans l'évaluation de la faisabilité d'une nouvelle opération :

- la température,
- la transmissivité (produit du coefficient de perméabilité et de l'épaisseur productrice de l'aquifère, elle permet d'évaluer la vitesse de circulation de l'eau dans l'aquifère, et donc sa productivité).

De plus, la présence d'un périmètre d'exploitation d'un doublet existant rend impossible l'implantation d'un nouveau doublet dans le même volume. Il est donc nécessaire d'intégrer à cette méthode de criblage un dernier paramètre, celui de la disponibilité du réservoir, affecté d'une valeur 1 ou 0 (au droit des permis d'exploitation existants ou en projet).

La répartition des deux premiers paramètres sur le territoire du Val-de-Marne a été évaluée par le BRGM à partir de l'interpolation des données relevées aux puits exploités.

L'évaluation du potentiel géothermique au Dogger est alors calculée par le croisement géographique de ces cartes par SIG, en pondérant le critère température d'un facteur 2. On obtient alors la relation suivante :

$$\text{Potentialité} = \text{Disponibilité} * (2 * \text{Température} + \text{Transmissivité})$$

Les paramètres « température » et « transmissivité » sont affectés d'une note de 1 à 5, la note totale est donc une note sur 15 ramenée à une note sur 5 décrivant un potentiel « modéré » à « excellent ».

La Figure 75 synthétise la démarche suivie et présente les résultats en termes de potentialité du Dogger pour une nouvelle exploitation géothermique dans le Val-de-Marne.

Notons que sur tout le secteur du Val-de-Marne, les paramètres de l'aquifère du Dogger présentent des valeurs compatibles avec son exploitation pour un projet de géothermie. L'objectif de cette carte est de réaliser un criblage afin de faire ressortir des secteurs géographiques les plus intéressants.

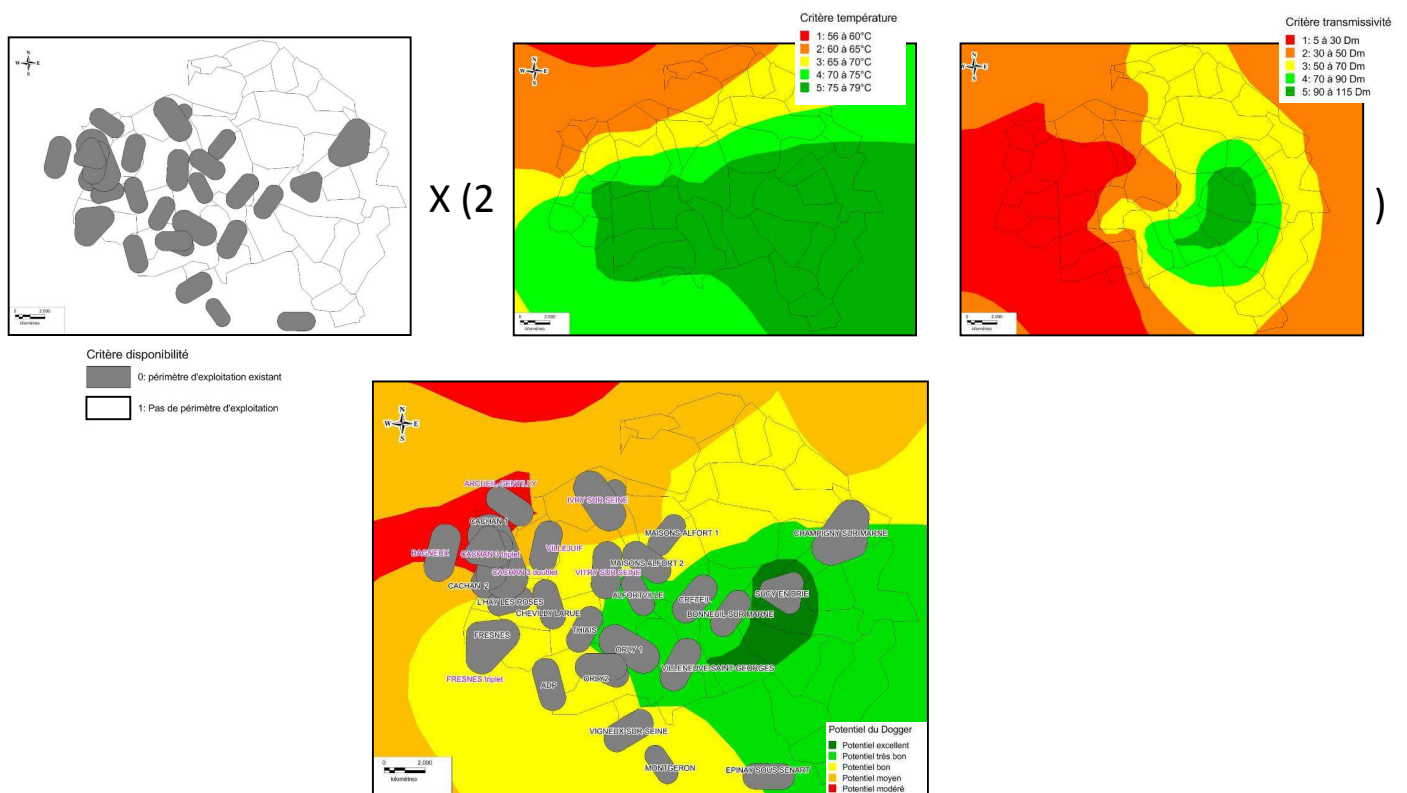


Figure 75 : Carte des potentialités du Dogger pour une nouvelle opération de géothermie dans le Val-de-Marne

b) Analyse du potentiel des autres aquifères profonds

Les exploitations géothermales actuelles sont cantonnées au Dogger, mais la nécessité d'identifier de nouvelles ressources apparaît aujourd'hui dans le Val-de-Marne ; en effet, l'aquifère est saturé dans le secteur ouest du département où un refroidissement de la ressource a même été observé sur le puits producteur d'Alfortville.

L'analyse des potentialités du Trias, du Lusitanien, du Néocomien et de l'Albien a été réalisée à partir des températures sources présumées. Une note de 1 à 5 a ainsi été attribuée, correspondant à un potentiel classé de « modéré » à « excellent ».

Du fait d'un manque de données d'essais, les transmissivités de ces aquifères profonds ne peuvent être évaluées qu'en ordre de grandeur sur le département, ce qui explique que ce critère n'a pu être retenu pour déterminer le potentiel géothermique de ces aquifères.

A titre d'illustration, les pages suivantes présentent respectivement le potentiel géothermique du Trias (Figure 76), du Lusitanien (Figure 77), du Néocomien (Figure 78) et de l'Albien (Figure 79).

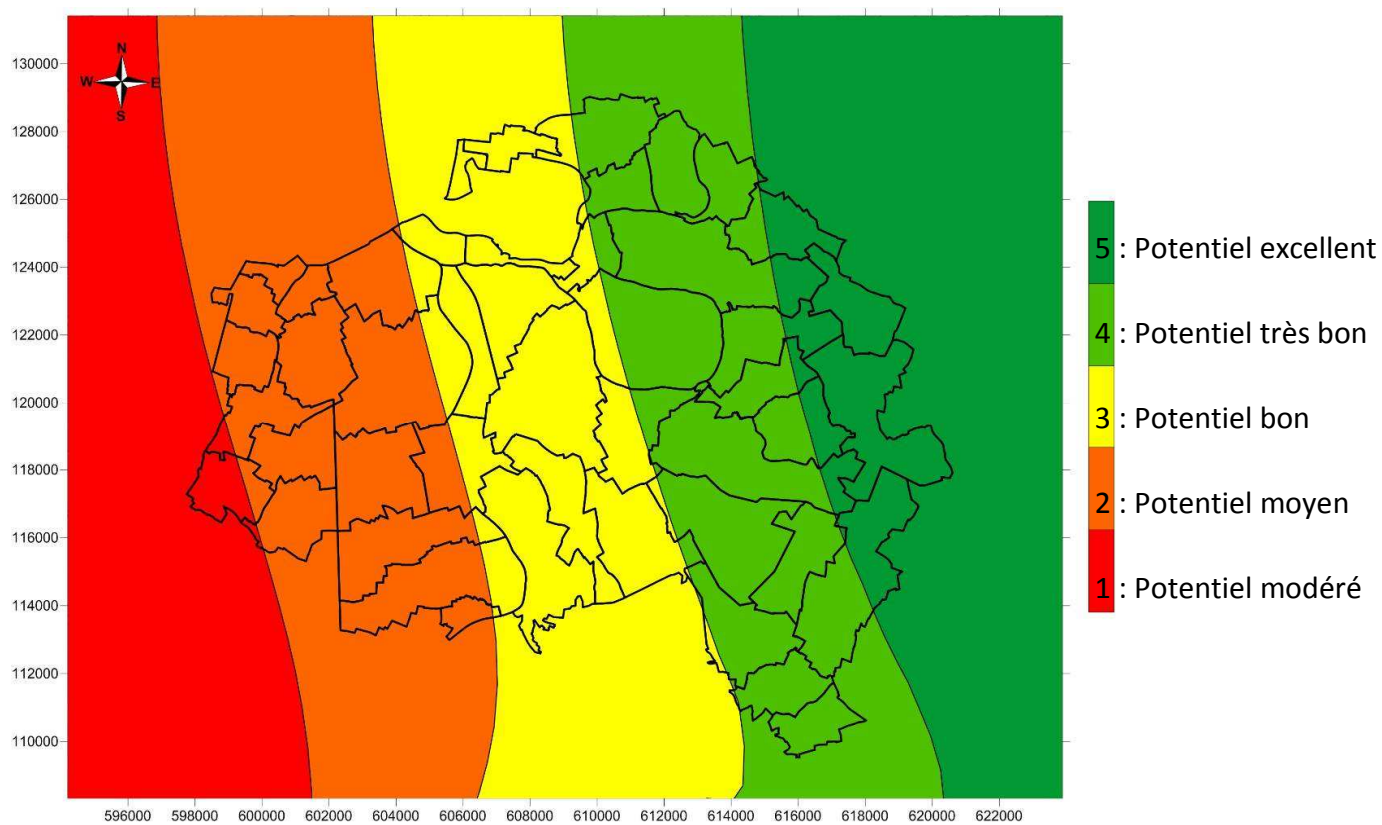


Figure 76 : Carte des potentialités du Trias pour une nouvelle opération de géothermie dans le Val-de-Marne

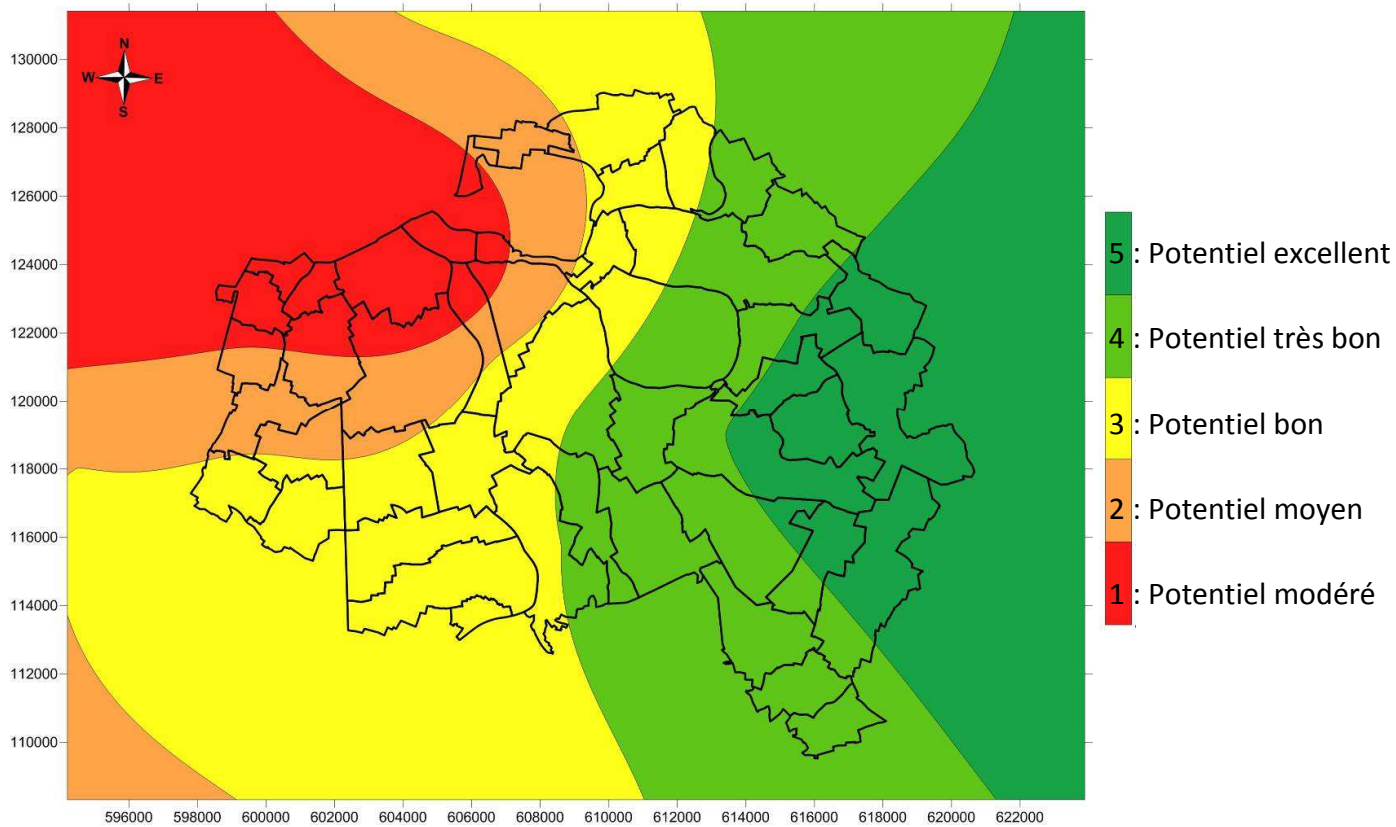


Figure 77 : Carte des potentialités du Lusitanien pour une nouvelle opération de géothermie dans le Val-de-Marne

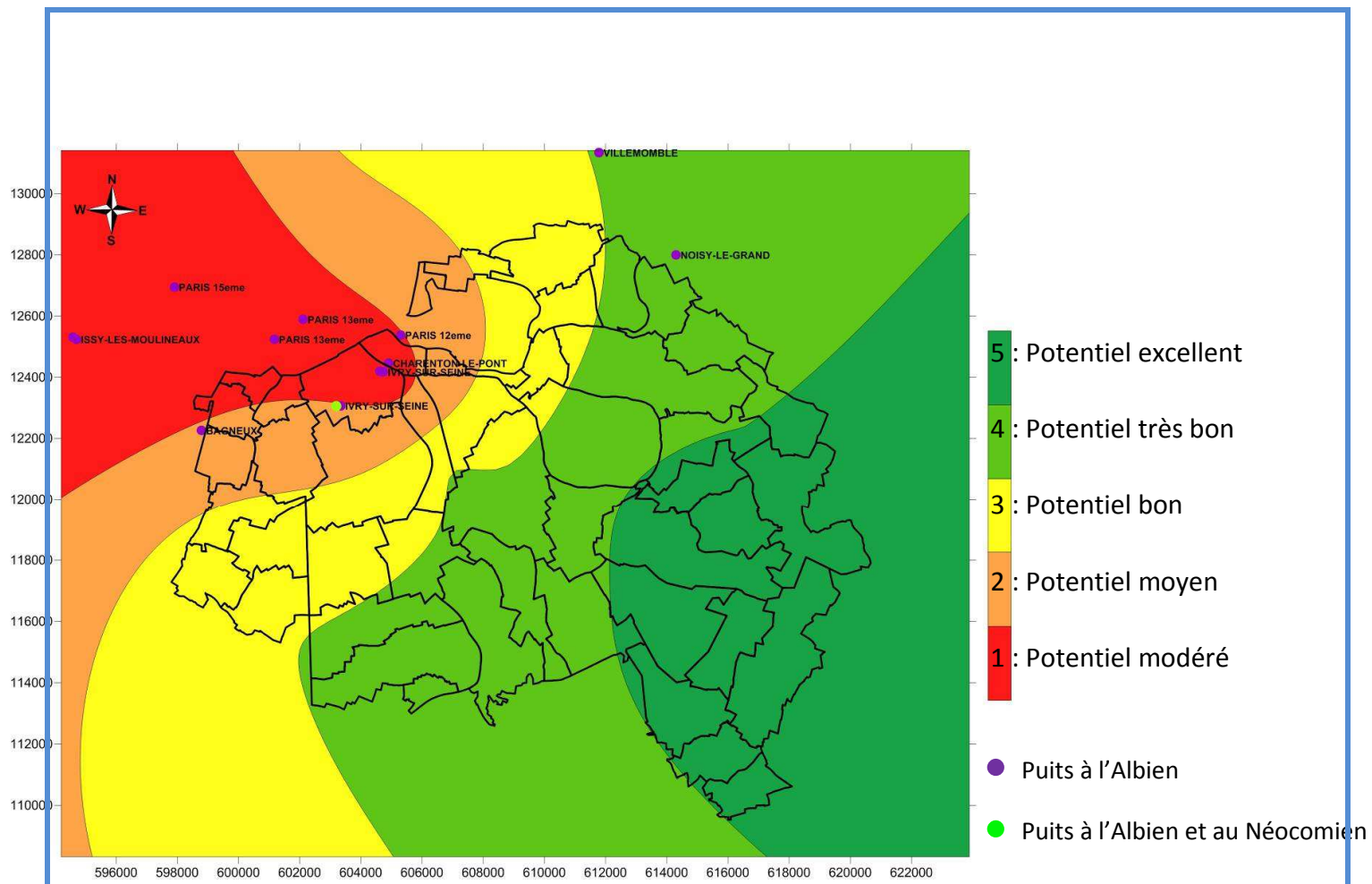


Figure 78 : Carte des potentialités du Néocomien pour une opération de géothermie dans le Val-de-Marne

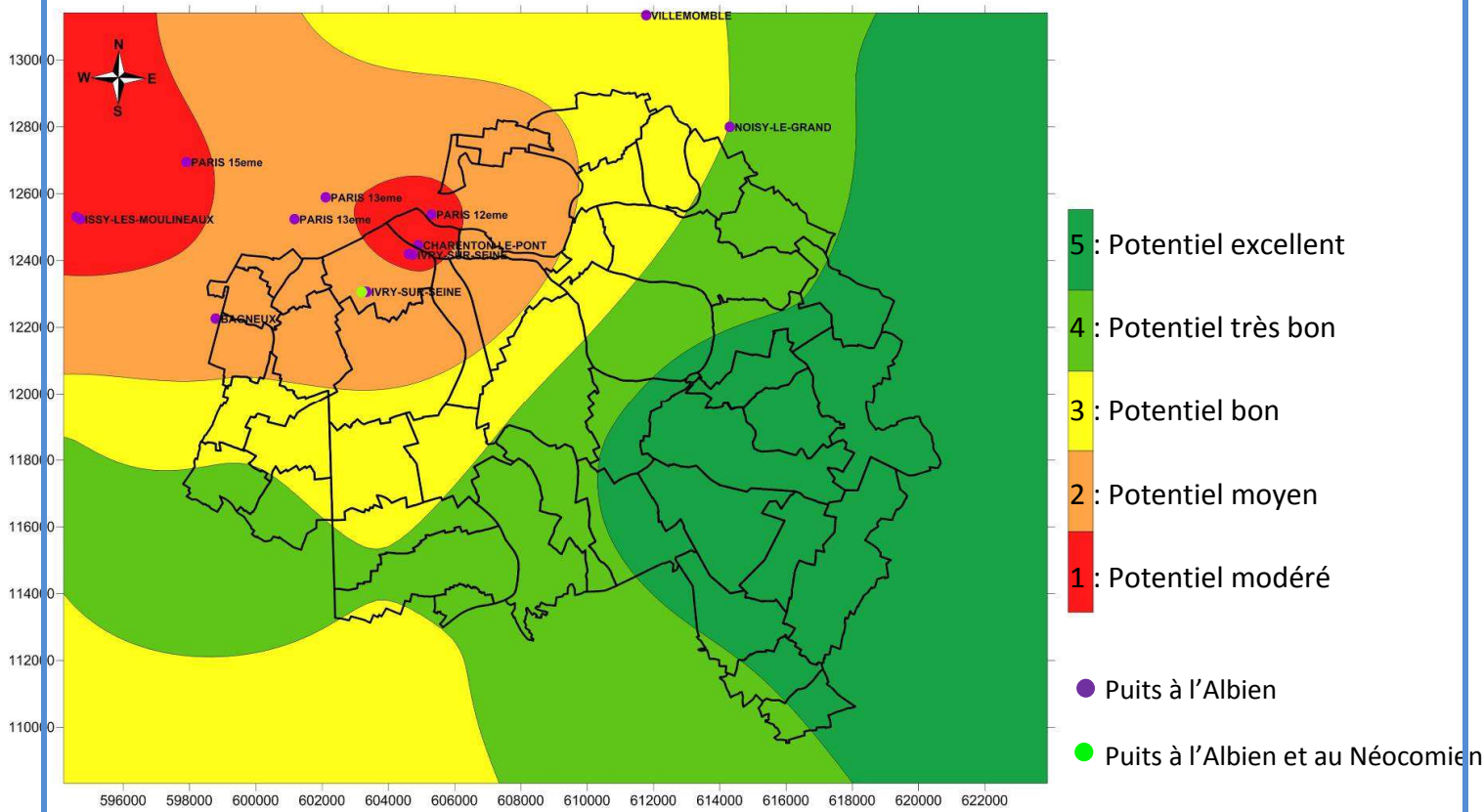


Figure 79 : Carte des potentialités de l'Albien pour une opération de géothermie dans le Val-de-Marne

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

Pour cette partie surface, beaucoup plus de paramètres entrent en jeu dans la détermination du potentiel. De plus, nous allons effectuer ce calcul selon trois hypothèses différentes :

- Pour une opération au Dogger
- Pour une opération au Lusitanien
- Pour une opération à l'Albien/Néocomien

Le graphique ci-dessous traduit les ordres de grandeurs retenus pour cibler les aquifères en fonction d'un nombre de logement raccordables (logements existants) et/ou d'un volume d'énergie prévisionnel.

Il s'agit d'ordres de grandeur qui peuvent varier au cas par cas selon les caractéristiques propres au projet (densité de consommation, qualité de la ressource...)

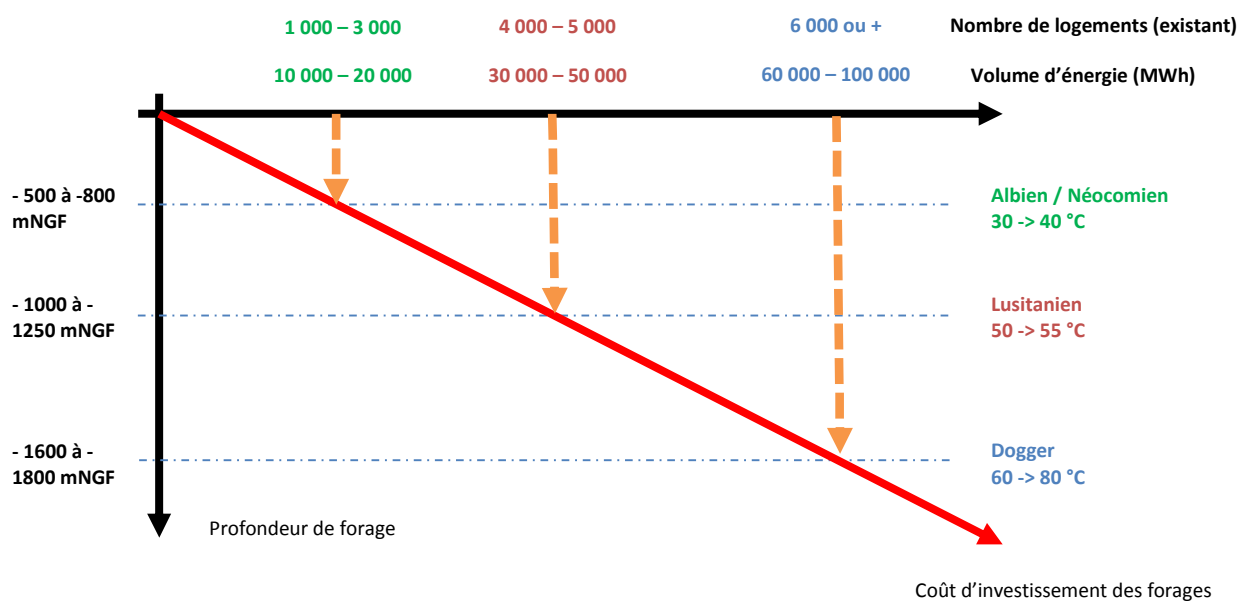


Figure 80 : Ordres de grandeurs pour cibler l'aquifère cible en fonction des besoins en surface

a) Conditions pour une opération au Dogger

- Nombre de logements potentiellement raccordables

Les résultats de la partie « Etat des lieux » montrent que les réseaux géothermiques du Val-de-Marne ont une taille moyenne de 8 000 équivalent-logements. Compte-tenu des objectifs environnementaux

ambitieux, il faudra donc chercher entre 10 000 et 12 000 logements potentiellement raccordables à un futur réseau de chaleur géothermique.

Dans un premier temps, 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. D'autre part, nous avons utilisé le recensement de l'INSEE pour obtenir le nombre d'équivalent-logement de type collectif raccordables.

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

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.

- Faisabilité Administrative

La création d'un réseau de chaleur n'est pas une opération anodine et compte-tenu des montants financiers mis en jeu, 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.

Etant donné que les bailleurs sociaux sont de potentiels investisseurs pour ce projet, donnant plus de chances au projet de voir le jour, nous les avons inclus comme un des paramètres dans le calcul.

- 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.

- Aménagement du territoire

Sur le département du Val-de-Marne, de nombreux aménagements sont prévus. On dénombre à l'heure actuelle une quantité importante de projets, que ce soit des ZAC (Zones d'Aménagement Concertées), des PNRQAD (Plan de rénovation des immeubles dégradés ; que sur Villeneuve-Saint-Georges) ou encore des de ZPRV (Zones de relances du département).

Les opérations d'envergure telles que l'OIN, les CDT et la reconversion de l'Ex-VDO ont également été intégrés.

Des travaux sont donc à prévoir dans ces zones et il faudra impérativement en tenir compte lors de l'étude de faisabilité, reléguant alors les villes avec des zones de travaux potentielles plus bas dans le classement.

b) 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 4 000 et 5 000 logements. Pour une opération à l'Albien/Néocomien, nous comptons sur 1 000 à 3 000 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.

c) Données patrimoniales des Bailleurs

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 du Val-de-Marne, actuellement près de 60 % du parc social locatif est connu avec plus ou moins de retours suivant les villes (cf. Figure 81).

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 CG94.

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 CG94.

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.

d) Origine des données cartographiques

Les données cartographiques (SIG) sont issues du service SIG du département du Val-de-Marne.

Villes	Total Logements Parc Locatif Social (1er janvier 2008 - MEEDDAT)
Total	167 712
Ablon-sur-Seine	351
Alfortville	8 432
Arcueil	3 964
Boissy-Saint-Léger	2 107
Bonneuil-sur-Marne	4 062
Bry-sur-Marne	791
Cachan	3 994
Champigny-sur-Marne	13 021
Charenton-le-Pont	3 865
Chennevières-sur-Marne	1 842
Chevilly-Larue	2 097
Choisy-le-Roi	6 013
Créteil	13 605
Fontenay-sous-Bois	7 191
Fresnes	2 607
Gentilly	4 282
L'Haÿ-les-Roses	3 844
Ivry-sur-Seine	11 185
Joinville-le-Pont	2 279
Le Kremlin-Bicêtre	4 434
Limeil-Brevannes	2 620
Maisons-Alfort	6 148
Mandres-les-Roses	122
Marolles-en-Brie	218
Nogent-sur-Marne	1 711
Noisieu	357
Orly	5 019
Ormesson-sur-Marne	97
Périgny	0
Le Perreux-sur-Marne	1 350
Le Plessis-Trévisé	1 413
La Queue-en-Brie	1 018
Rungis	353
Saint-Mandé	968
Saint-Maur-des-Fossés	2 676
Saint-Maurice	1 562
Santeny	97
Sucy-en-Brie	1 278
Thiais	2 892
Valenton	2 574
Villemecresnes	262
Villejuif	9 258
Villeneuve-le-Roi	1 787
Villeneuve-Saint-Georges	4 278
Villiers-sur-Marne	3 102
Vincennes	1 980
Vitry-sur-Seine	14 606

Retours Bailleurs	% de retours sur le Total
96 278	57,4%
299	85,2%
7 077	83,9%
3 220	81,2%
1 942	92,2%
483	11,9%
430	54,4%
1 602	40,1%
6 395	49,1%
2 463	63,7%
1 502	81,5%
1 496	71,3%
4 769	79,3%
9 439	69,4%
2 666	37,1%
1 924	73,8%
2 353	55,0%
2 547	66,3%
2 321	20,8%
326	14,3%
3 635	82,0%
967	36,9%
3 479	56,6%
37	30,3%
174	79,8%
110	6,4%
144	40,3%
4 550	90,7%
50	51,5%
0	-
708	52,4%
792	56,1%
430	42,2%
33	9,3%
782	80,8%
806	30,1%
957	61,3%
118	121,6%
513	40,1%
1 365	47,2%
2 241	87,1%
118	45,0%
4 481	48,4%
960	53,7%
1 651	38,6%
2 079	67,0%
904	45,7%
10 940	74,9%

Figure 81 : Taux de retour du questionnaire bailleur pour l'ensemble des communes du Val-de-Marne.

B. Identification des groupes grâce à la méthode de criblage

La méthode de criblage utilisée nous a permis d'effectuer le classement des villes en 4 groupes.

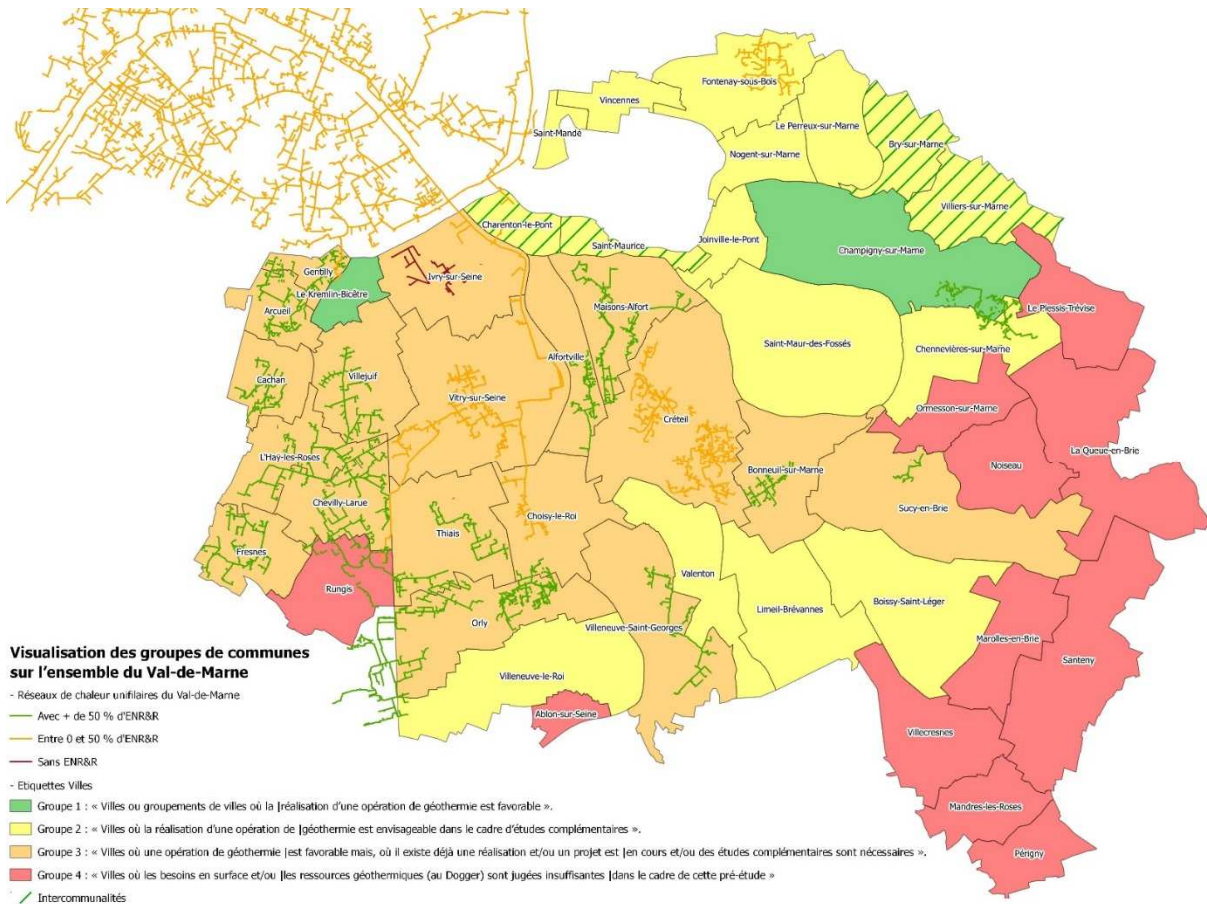


Figure 82 : Visualisation des groupes sur l'ensemble du Val-de-Marne

1. Groupe 1

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

	Dogger	Lusitanien	Albien/Néocomien	Commentaires
Champigny-sur-Marne	X			Environ 60 000 MWh identifiés
Le Kremlin-Bicêtre			X	Environ 60 000 MWh identifiés

	Dogger	Lusitanien	Albien/Néocomien	Commentaires
Bry-sur-Marne/Villiers-sur-Marne	X			Environ 55 000 MWh identifiés
CC de Charenton et Saint-Maurice			X	Environ 38 000 MWh identifiés

Figure 83 : 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 ».

2. Groupe 2

Le groupe 2 rassemble toutes les « **Villes ou Groupement de Villes où l'accès à la géothermie est envisageable dans le cadre d'études complémentaires** »

	Dogger	Lusitanien	Albien/Néocomien	Commentaires
Boissy-Saint-Léger	X			Besoins insuffisants pour une opération / Association possible
Bry-sur-Marne	X			Besoins insuffisants pour une opération / Association possible
Charenton-le-Pont			X	Besoins insuffisants pour une opération / Association possible
Chennevières-sur-Marne			X	Opération potentielle à l'Albien avec le Moulin de Chennevières
Fontenay-sous-Bois			X	Besoins suffisants pour une opération mais réseau non compatible
Joinville-le-Pont			X	Opération potentielle mais besoins très diffus
Le Perreux-sur-Marne			X	Besoins insuffisants pour une opération / Association possible
Limeil-Brévannes		X	X	Besoins insuffisants pour une opération / Association possible
Nogent-sur-Marne			X	Opération potentielle mais besoins très diffus
Saint-Mandé			X	Opération potentielle mais besoins très diffus
Saint-Maur-des-Fossés	X			Opération potentielle au Dogger mais besoins en surface diffus
Saint-Maurice			X	Besoins insuffisants pour une opération / Association possible
Valenton		X	X	Opération potentielle mais données complémentaires à obtenir
Villeneuve-le-Roi	X			Extension du réseau d'Orly/Choisy possible
Villiers-sur-Marne	X			Besoins insuffisants pour une opération / Association possible
Vincennes	X			Opération potentielle au Dogger mais besoins en surface diffus

Figure 84 : Communes du Groupe 2

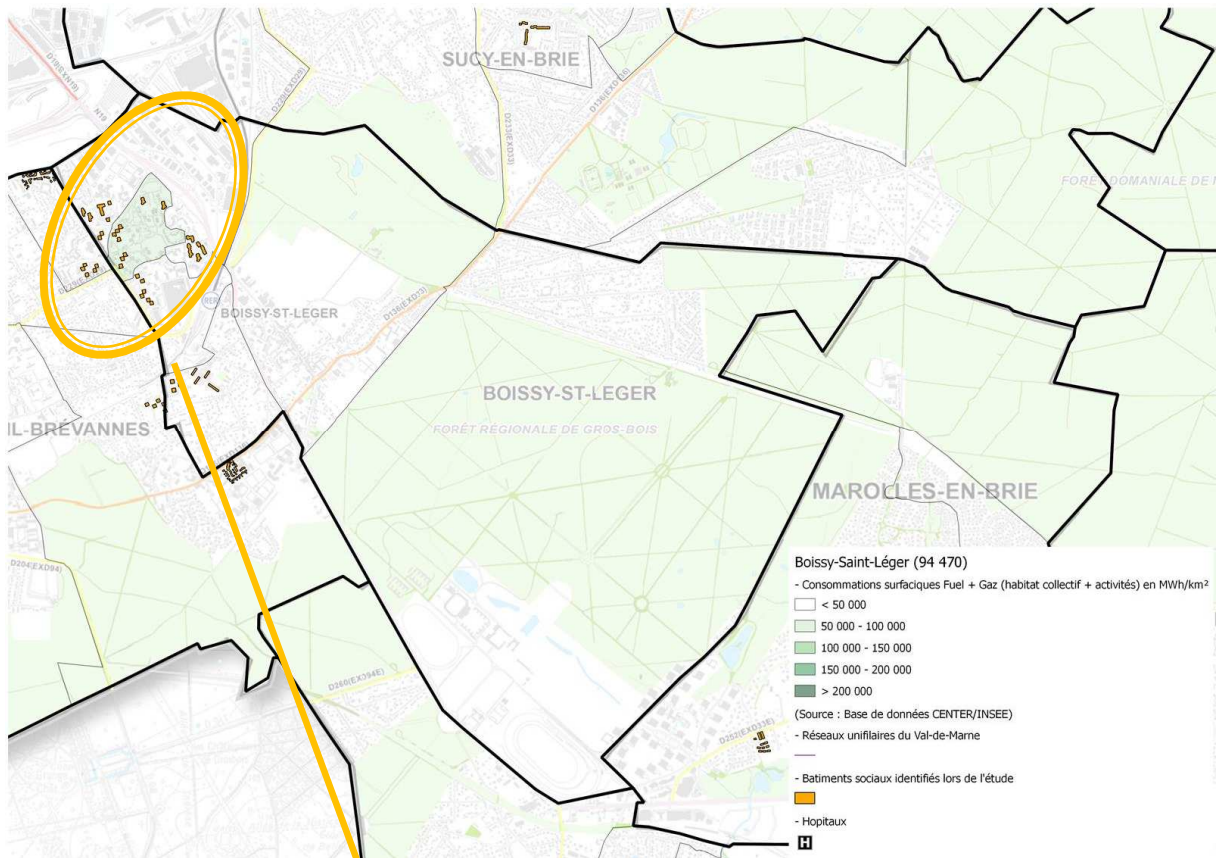
Toutes les données chiffrées des communes se trouvent dans le classeur-ville en annexe. Néanmoins, quelques explications sont données ci-après pour chacune de villes du Groupe 2.

Pour toutes les villes du Groupe 2, les informations de la base de données CENTER ont été utilisées. Les données chiffrées indiquées sont la somme des consommations données par cette base pour le chauffage collectif des logements, les bureaux, les commerces, les établissements de santé et les établissements d'enseignements pour des usages de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire avec du Gaz Naturel et du Fioul.

a) Boissy-Saint-Léger

La commune de Boissy-Saint-Léger possède un potentiel intéressant situé au Nord-Ouest de son territoire, le quartier de la Haie-Griselle : environ 1 700 logements raccordables. Toutefois, ce potentiel n'est pas suffisant pour justifier d'une opération géothermale au Dogger. Compte-tenu des caractéristiques intrinsèques des bâtiments (radiateurs haute température), les aquifères superficiels tels que l'Albien/Néocomien et le Lusitanien ne sont actuellement pas considérés comme objectifs. Ce quartier pourrait constituer un potentiel de base pour une opération couplée avec Limeil-Brévannes par exemple.

Hormis la partie de la commune située à proximité immédiate des lignes de RER, le potentiel pour le développement d'une opération de géothermie profonde semble très diffus.



Quartier de la Haie Griselle

- 1 763 Logements dont 1 557 avec ECS Collective et 80 avec Panneaux de sol

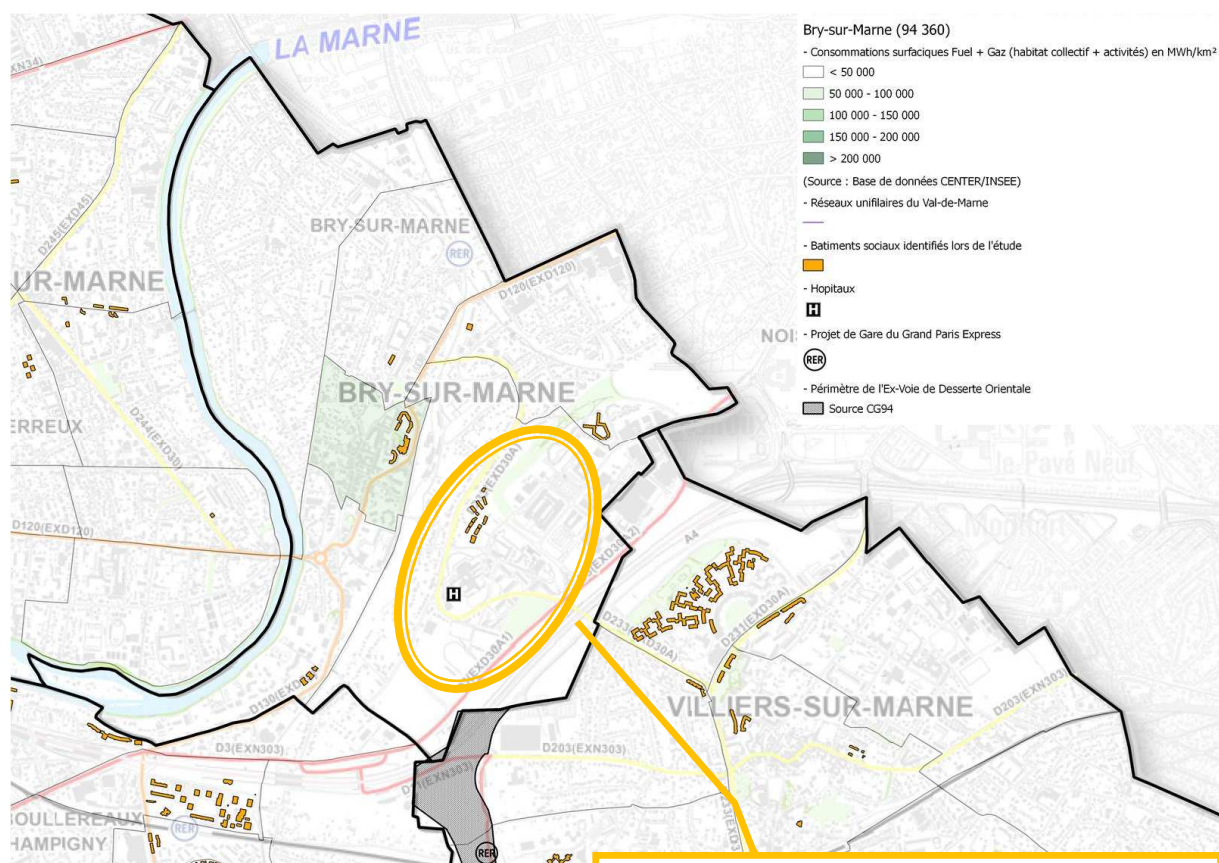
b) Bry-sur-Marne

Les sites de l'INA et de la SFP sont des zones concernées par un aménagement de grande envergure à moyen terme et prévu par le CDT des Boucles de la Marne. Il est prévu la construction de : 175 400 m² de Bureaux, 52 400 m² d'Activités, 6 000 m² de Commerces.

Ce potentiel doit servir de base à une nouvelle opération potentielle du fait de l'importance du potentiel de chauffage basse température présents sur cette opération d'urbanisme.

Toutefois, le nombre de logements potentiellement raccordables (environ 500 logements en copropriété et un hôpital), sur la partie de Sud-Est de la commune ne permet pas à lui seul la réalisation d'une opération de géothermie profonde. Il est également à signaler que la partie Nord-Ouest semble, dans un premier temps, difficilement accessible du fait de la présence de la voie ferrée nécessitant un allongement du tracé potentiel de réseau. Le centre ancien de la commune constitue une opportunité de développement mais son potentiel est très diffus (peu de bâtiment sociaux, patrimoine communal non communiqué).

Pour ces raisons une association avec la commune limitrophe de Villiers-sur-Marne est envisageable.



Quartier des Coteaux

- Hôpital Sainte-Camille
- 477 Logements dont 125 avec ECS Collective et 352 avec Panneaux de sol
- Réaménagement des sites INA et SFP

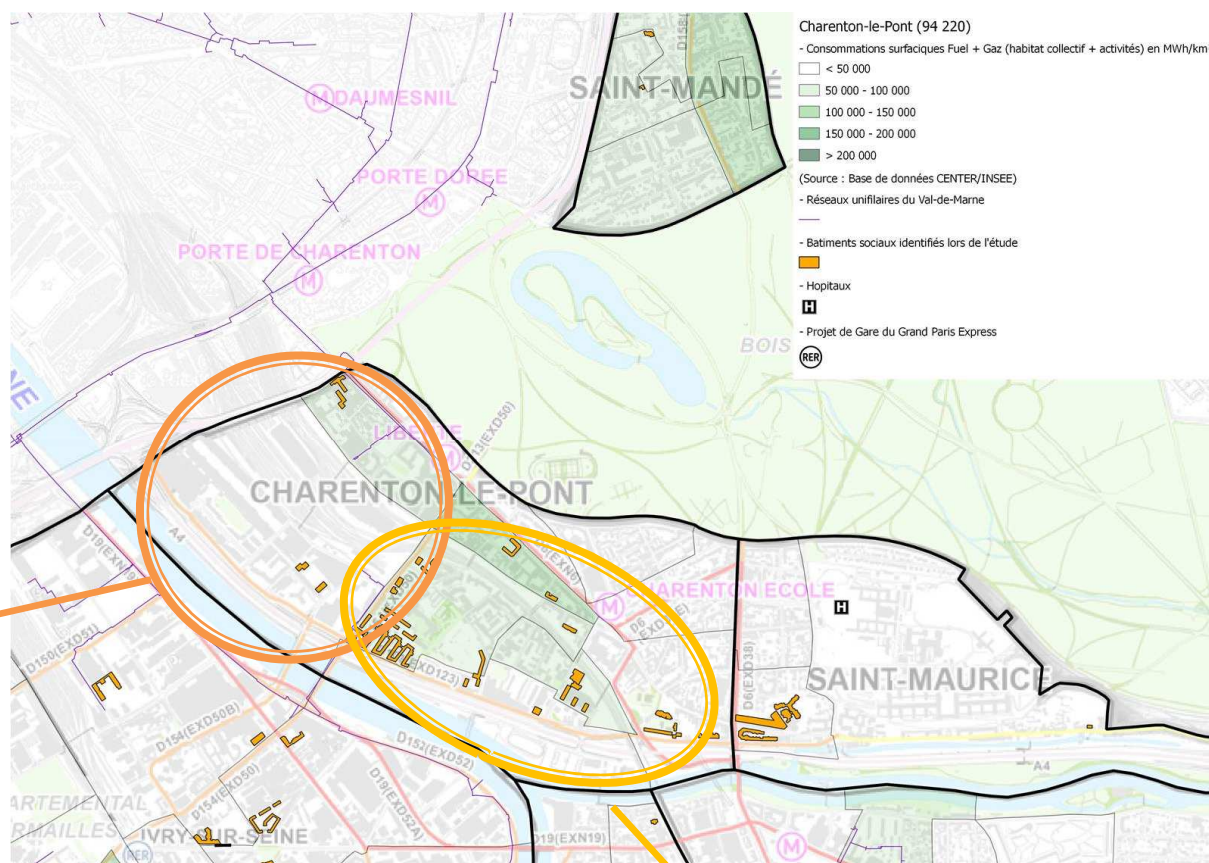
c) Charenton-le-Pont

Quelques bâtiments de la commune de Charenton-le-Pont sont déjà raccordés au réseau de la CPCU. Charenton-le-Pont peut être divisée en deux parties : la première, à l'ouest, majoritairement dotée de bureaux et la seconde, à l'est, de logements collectifs.

Sur la partie Ouest, il s'agit de grands ensembles de Bureaux et de Commerces qui peuvent être convertis sous conditions à une opération de géothermie.

Sur la partie Est, il existe un potentiel important pouvant être valorisé. Par le retour du questionnaire des bailleurs, il a été identifié environ 1 650 logements chauffés collectivement sur cette zone. Le reste du potentiel est donc de l'habitat privé diffus non identifiable à ce stade de l'étude.

Le potentiel identifié n'est pas de nature à permettre la réalisation d'une opération de géothermie profonde. Toutefois, une association avec la Commune de Saint-Maurice peut être envisagée.



Quartiers Bercy +Valmy

- Potentiel recensé : 37 000 MWh dont 24 000 MWh pour les bureaux (Quartier Liberté) et les commerces (Centre Commercial Bercy 2)

Quartiers Archevêché + Conflans + Bordeaux/V. Hugo + Centre-Ville + Carrières

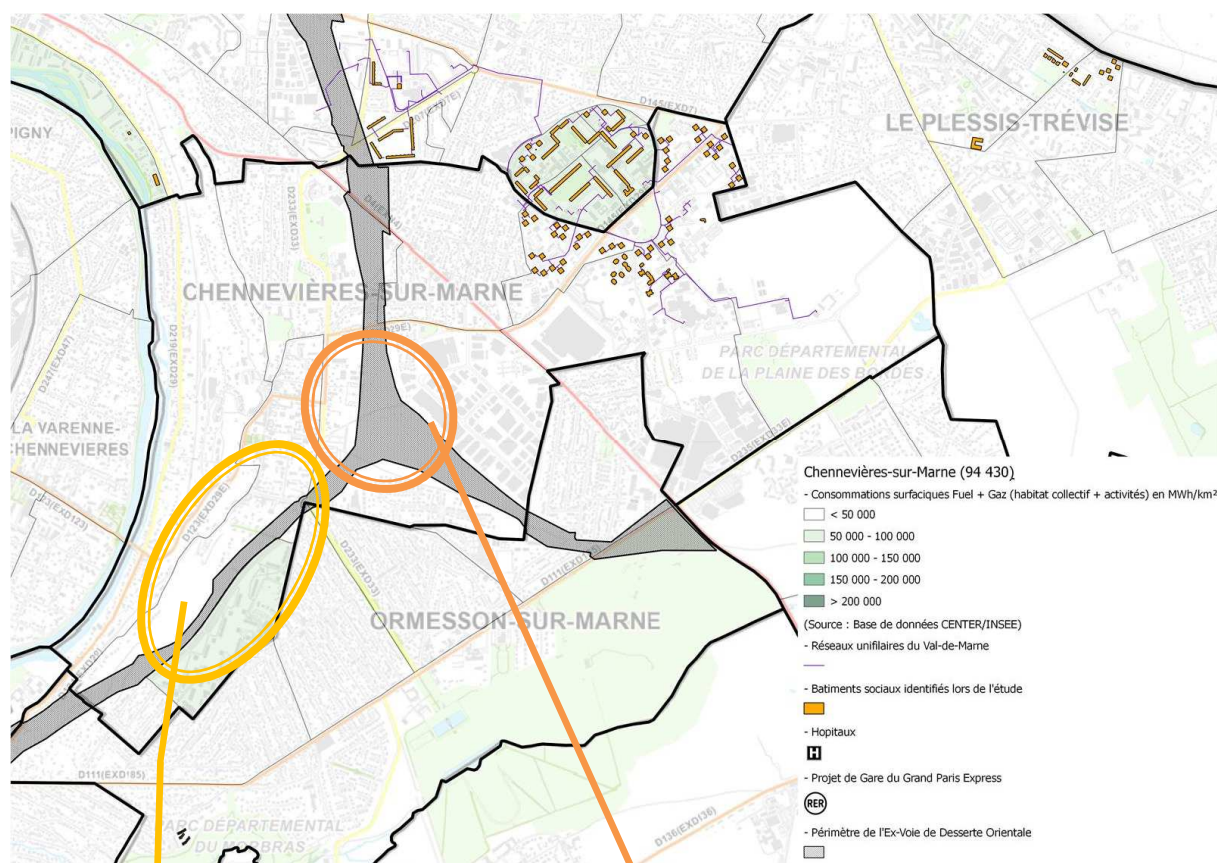
- Potentiel recensé : 60 000 MWh dont 42 000 MWh pour l'habitat collectif pour environ 4 500 logements collectifs

d) Chennevières-sur-Marne

La commune de Chennevières-sur-Marne dispose d'une partie du réseau de chaleur de Champigny-sur-Marne sur le quartier du Bois l'Abbé. Ce réseau semble disposer de peu de densifications possibles sur le territoire de Chennevières-sur-Marne.

D'importants potentiels de développement sont offerts par l'ancienne voie de desserte orientale présente sur une grande partie sur la commune. Un projet existe déjà, l'ECOcentre de Chennevières-sur-Marne où environ 1000 logements seraient à construire. A proximité, sur le quartier des Coteaux, une copropriété de 1100 logements (Moulin de Chennevières) est chauffée collectivement. Le potentiel restant sur la Commune de Chennevières-sur-Marne est diffus.

Au stade actuel de l'étude, le potentiel identifié n'est pas de nature à permettre le lancement d'une opération de géothermie profonde. Toutefois, ce point est à travailler dans le cadre des études préliminaires de la future ZAC afin d'examiner le point global de la commune pour un réseau de chaleur.



Quartiers Coteaux

- Potentiel recensé : environ 1100 logements chauffés collectivement regroupés en une copropriété

Projet ECOcentre

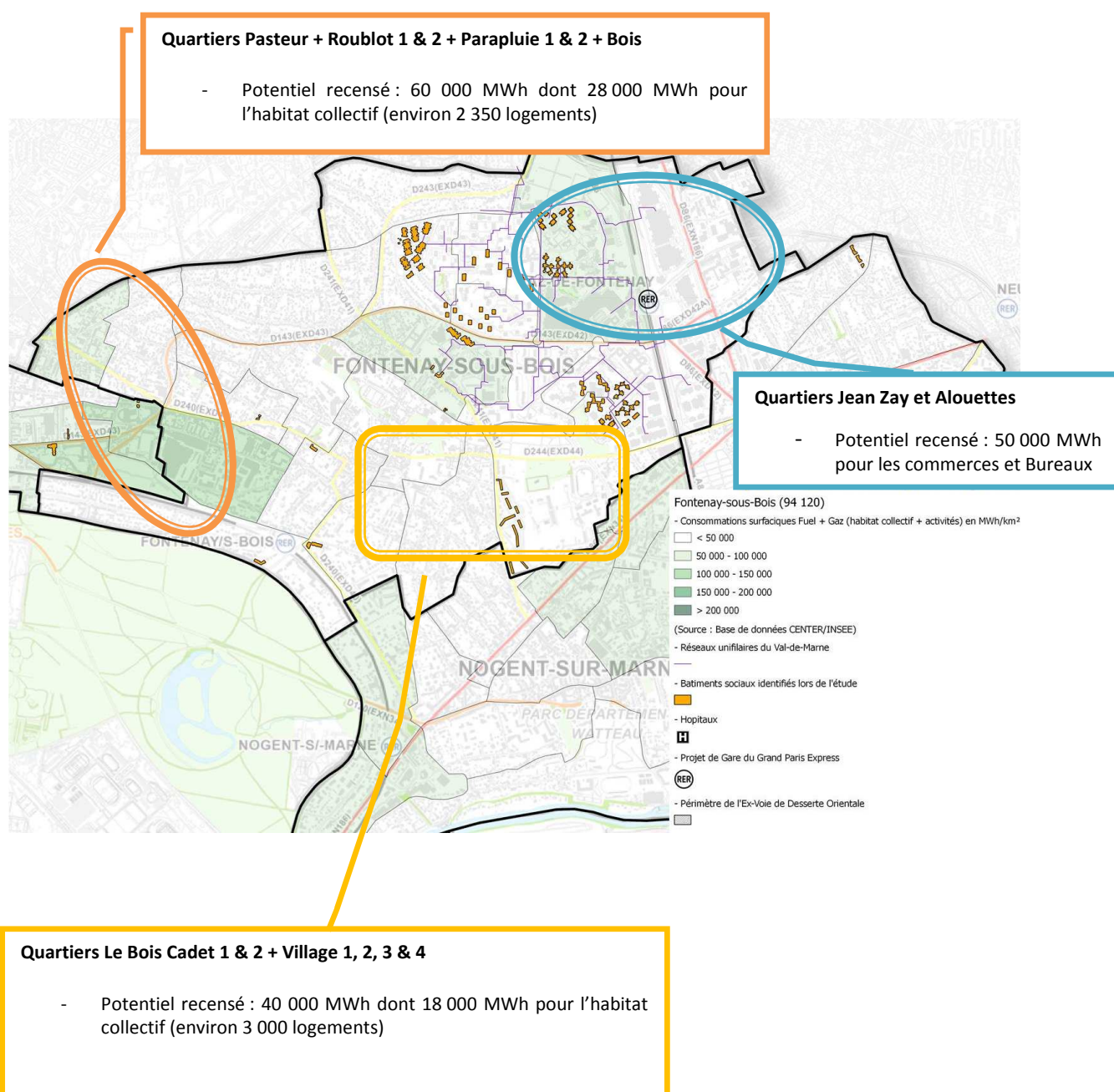
- Projet en cours de réflexion, environ 1000 logements prévus

e) Fontenay-sous-Bois

Le réseau de Fontenay-sous-Bois est déjà très étendu au Nord de la ville mais il reste sur les deux groupes identifiés un grand nombre de logements sur l'habitat collectif potentiellement raccordable. Cet habitat collectif est essentiellement privé et probablement très diffus.

Malgré son importance (environ 5 500 logements), il n'est actuellement pas de nature à devenir une opération potentielle de géothermie profonde. Ce potentiel, sous réserves de faisabilité technico-économique (longueur de réseau importante pour une densité actuellement non connue), pourrait constituer un développement potentiel du réseau existant.

Toutefois, il semblerait possible que le réseau existant puisse être développé vers les quartiers Jean Zay et Alouettes. En effet, la base de données CENTER indique une consommation importante de Gaz Naturel pour les Bureaux et Commerces de cette zone.



f) Joinville-le-Pont

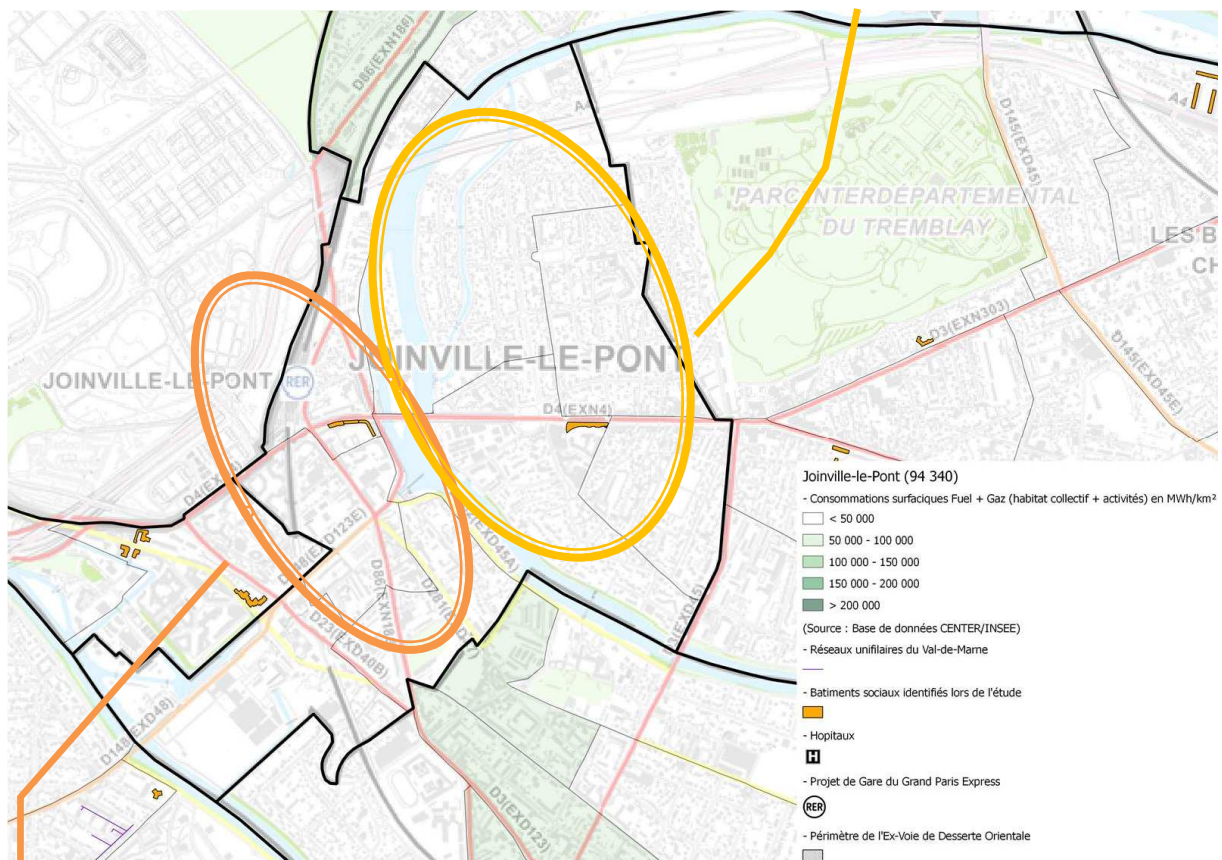
La ville de Joinville-le-Pont est séparée en deux par la Marne, ce qui nécessite de séparer les potentiels identifiés sur la commune.

Sur la partie Ouest, le potentiel donné par la base de données CENTER est de 22 000 MWh dont 5 000 pour l'habitat collectif. Cette partie n'a pas vocation à accueillir un réseau de chaleur à base géothermale compte-tenu des besoins actuels. Toutefois, dans l'hypothèse où un réseau serait développé sur la commune de Champigny-sur-Marne, la partie Ouest de Joinville pourrait être une extension envisageable.

La partie Est de Joinville-le-Pont présente un potentiel d'environ 29 000 MWh dont 17 000 MWh pour l'habitat collectif privé (environ 1 750 logements raccordables). Ce potentiel ne peut constituer à lui-même une opération pour un réseau à base géothermale. Des études complémentaires devront être menées pour identifier l'opportunité de raccorder l'habitat privé et d'envisager les options de mutualisation des besoins thermiques avec les parties Ouest de Saint-Maurice et Nord de Saint-Maur-des-Fossés.

Partie Est

- Potentiel recensé : 22 000 MWh dont 5 000 MWh pour l'habitat collectif
- 62 logements sociaux



Partie Ouest

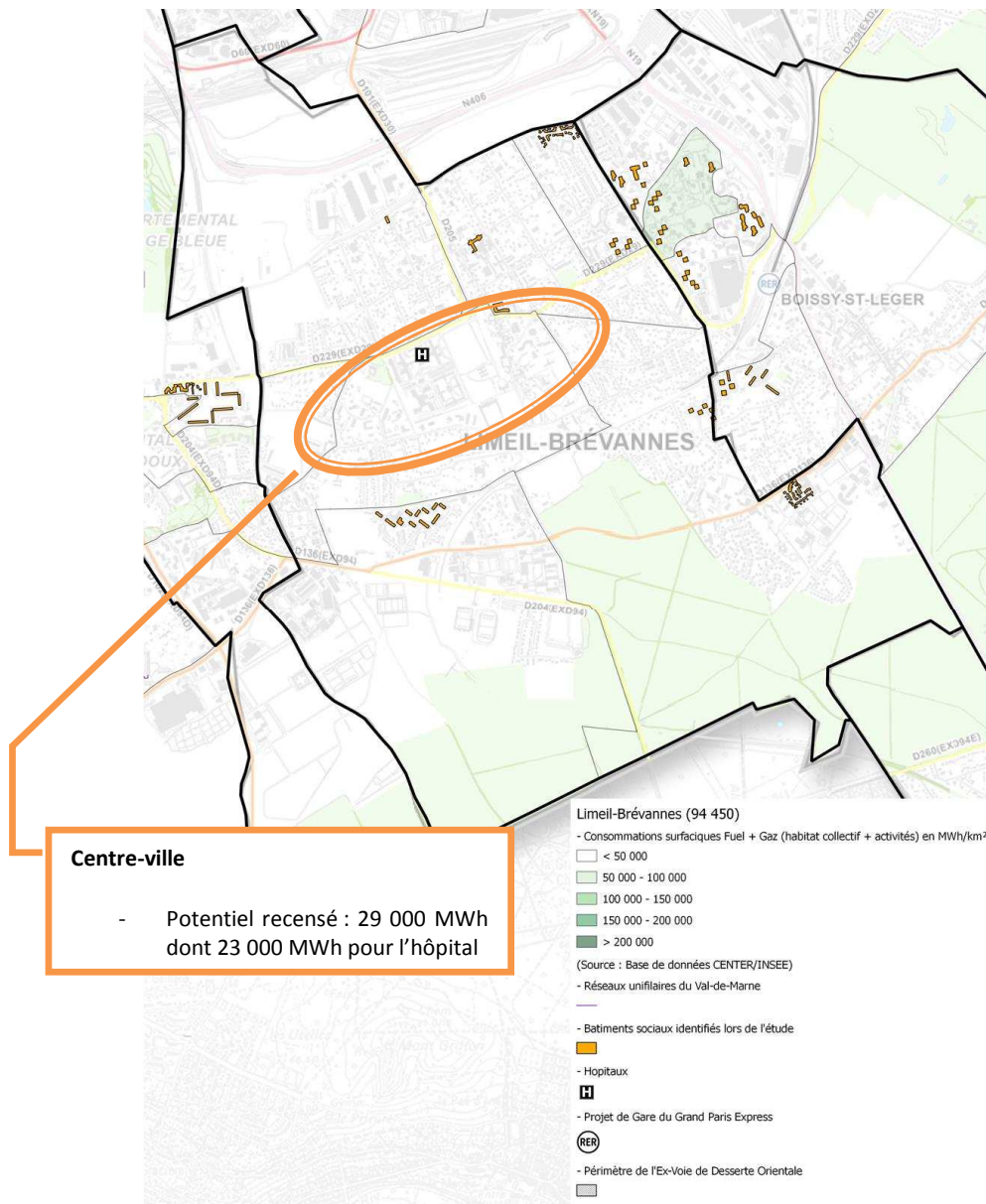
- Potentiel recensé : 29 000 MWh dont 17 000 MWh pour l'habitat collectif

g) Limeil-Brévannes

La ville de Limeil-Brévannes développe actuellement un réseau de chaleur biomasse sur l'Eco-quartier des Temps Durables.

Dans le reste de la ville, la majeure partie potentiel de développement réside dans l'Hôpital de Limeil-Brévannes (environ 22 000 MWh) et dans les résidences de France Habitation (280 logements - environ 3 000 MWh). Ensuite, l'habitat privé collectif représente environ 10 000 MWh répartis sur l'ensemble de la Ville de Limeil-Brévannes.

Ce potentiel n'est actuellement pas de nature à permettre le développement d'une opération de géothermie profonde. Toutefois, ce potentiel peut être exploité soit par extension du réseau de l'Eco-quartier des Temps Durables, soit dans le cadre d'une réflexion globale avec les communes de Valenton et de Boissy-Saint-Léger. En effet, le potentiel est de nature à optimiser une opération de géothermie commune, soit avec Valenton, soit avec Boissy-Saint-Léger, soit avec les 2 communes selon l'axe de la départementale D229.

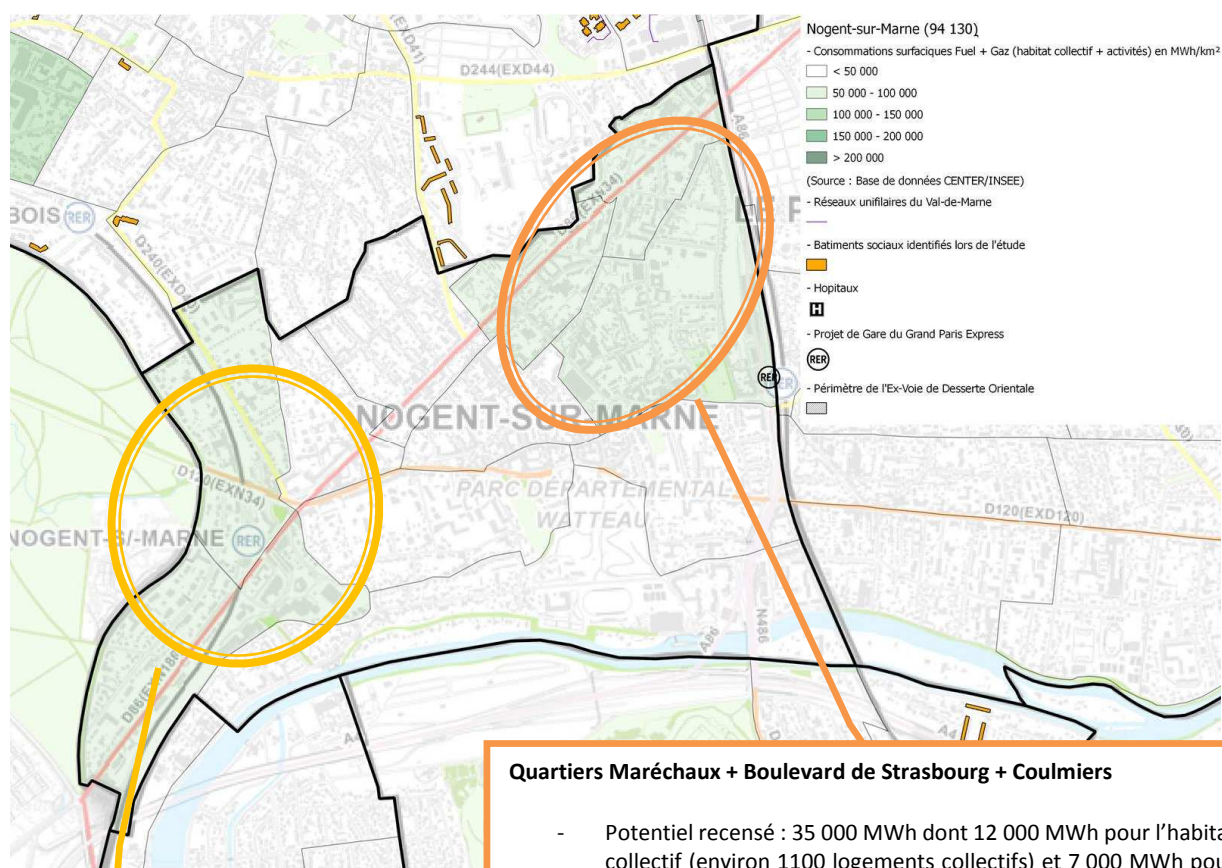


h) Nogent-sur-Marne

La ville de Nogent-sur-Marne possède de plusieurs zones de densités de consommation d'énergie fossile. Celles-ci sont identifiées : à l'Ouest, du côté du Bois de Vincennes et à l'Est à l'intersection des communes de Fontenay-sous-Bois et du Perreux-sur-Marne.

Peu de retours des bailleurs ont eu lieu sur cette commune (6%) et le nombre de logements (environ 1 700) de l'habitat public n'est pas de nature à constituer une base solide pour le développement d'une opération de géothermie profonde. Des études complémentaires, afin notamment d'étudier les opportunités de l'habitat privé, serait nécessaire afin d'évaluer la pertinence du réseau de chaleur à base géothermale.

Enfin, toute la partie Sud est essentiellement composée de logement à habitat individuel et donc des modes de chauffage en grande partie non compatibles avec un réseau de chaleur.



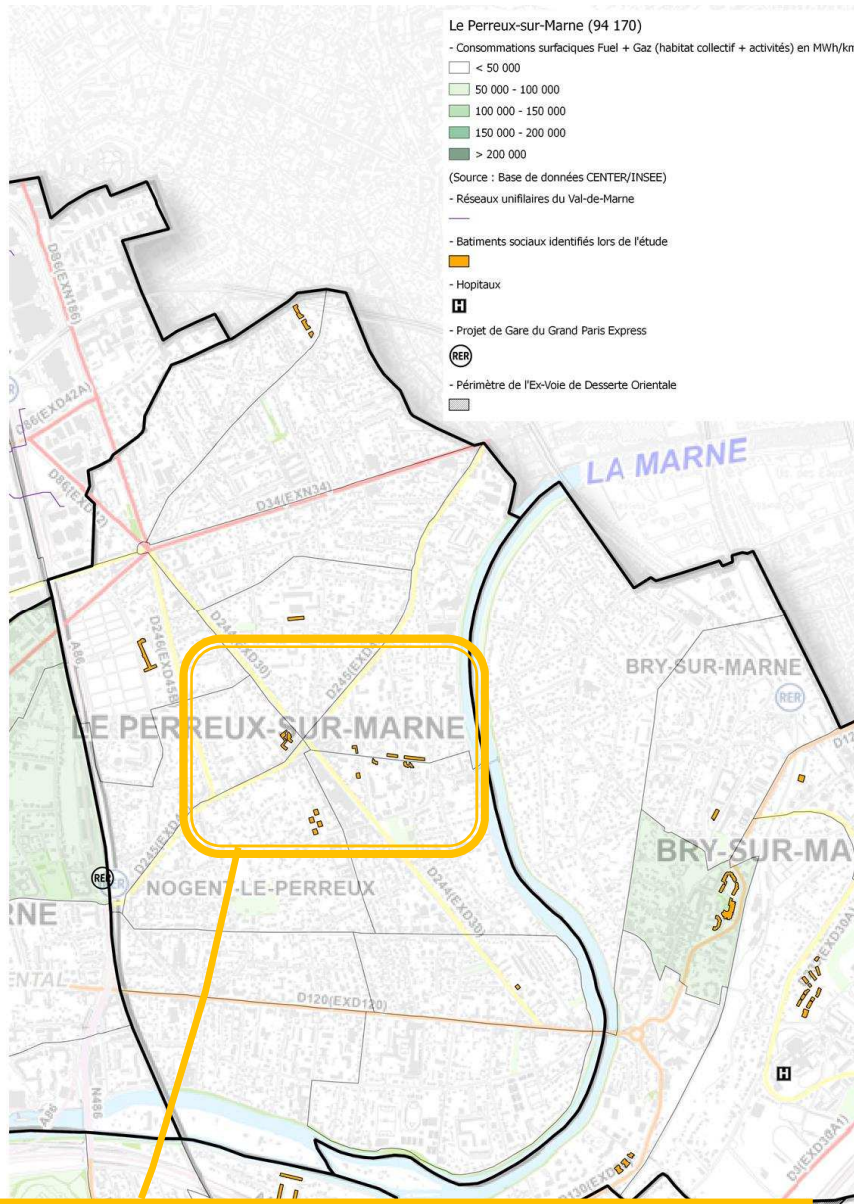
Quartiers Bois de Vincennes + Baltard + Sous-Préfecture + Place Leclerc

- Potentiel recensé : 47 000 MWh dont 27 000 MWh pour l'habitat collectif (environ 2 300 logements collectifs) et 10 000 MWh pour des établissements publics d'enseignement

i) Le Perreux-sur-Marne

La commune du Perreux-sur-Marne dispose d'un potentiel sur l'ensemble de son territoire d'environ 58 000 MWh dont 17 000 serait pour de l'habitat collectif. Cet habitat collectif est essentiellement privé (environ 2 250 logements sur l'ensemble de la commune).

D'autre part, la commune est limitée à l'ouest par la Marne et ne peut envisager de mutualisation du potentiel avec Bry-sur-Marne.



Ville du Perreux-sur-Marne

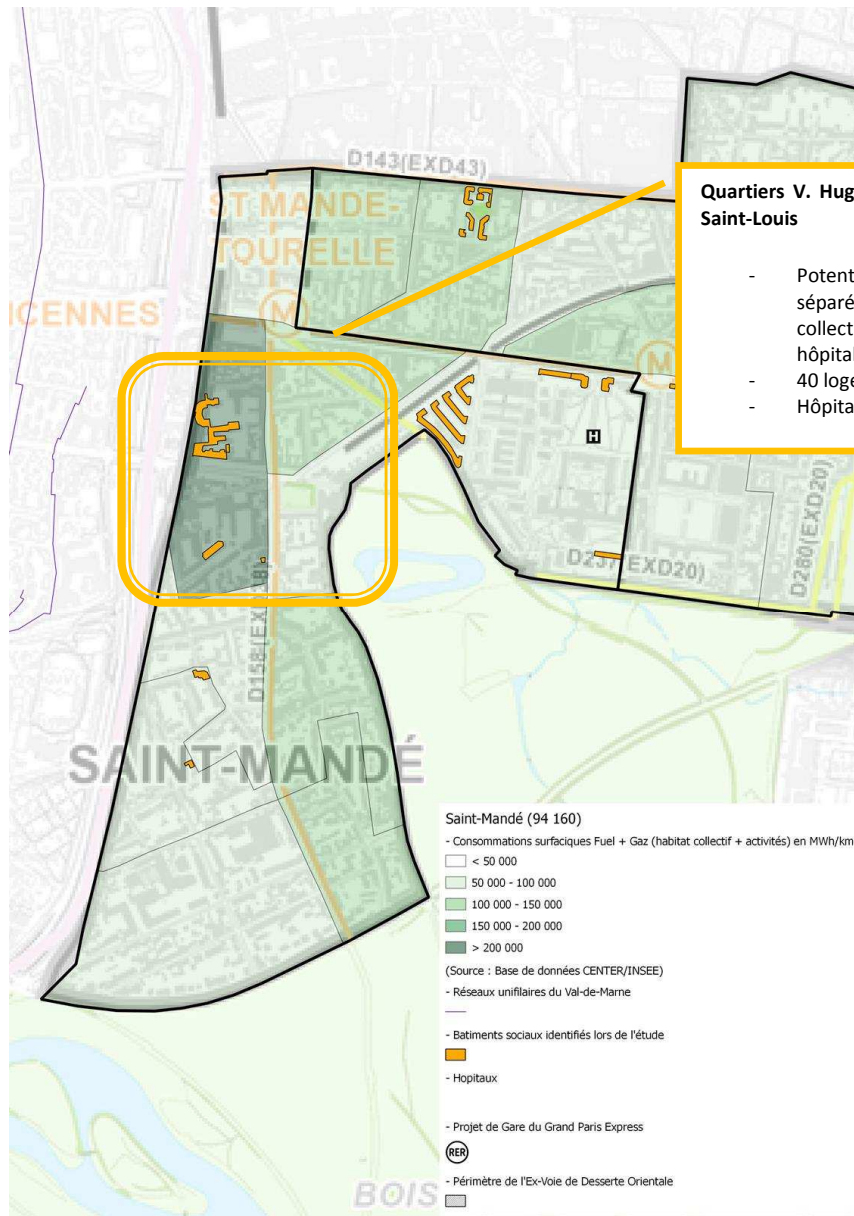
- Potentiel recensé : 58 000 MWh dont 17 000 MWh pour l'habitat collectif, 7 000 MWh pour les établissements de santé et 5 000 MWh pour des établissements scolaires
- 420 logements sociaux dont 400 avec ECS Collectives

j) Saint-Mandé

La commune de Saint-Mandé présente certainement les plus grosses consommations en surface avec des consommations identifiées dans la base de données CENTER à plus de 90 000 MWh sur une zone très réduite.

Ce potentiel est essentiellement dû à l'habitat collectif privé (environ 49 000 MWh pour 4 600 logements chauffés collectivement). Il est complété par la présence de l'hôpital Bégin (300 lits) sur la partie est de la Ville.

Toutefois, comme indiqué ce potentiel est essentiellement privé, il nécessite donc la réalisation d'études complémentaires afin de connaître plus précisément la nature de cette potentialité (emplacement, consommations, intérêt économique...) afin de déterminer l'opportunité de recours à un réseau de chaleur à base géothermale.



Quartiers V. Hugo + C. De Gaulle + Bégin + Saint-Louis

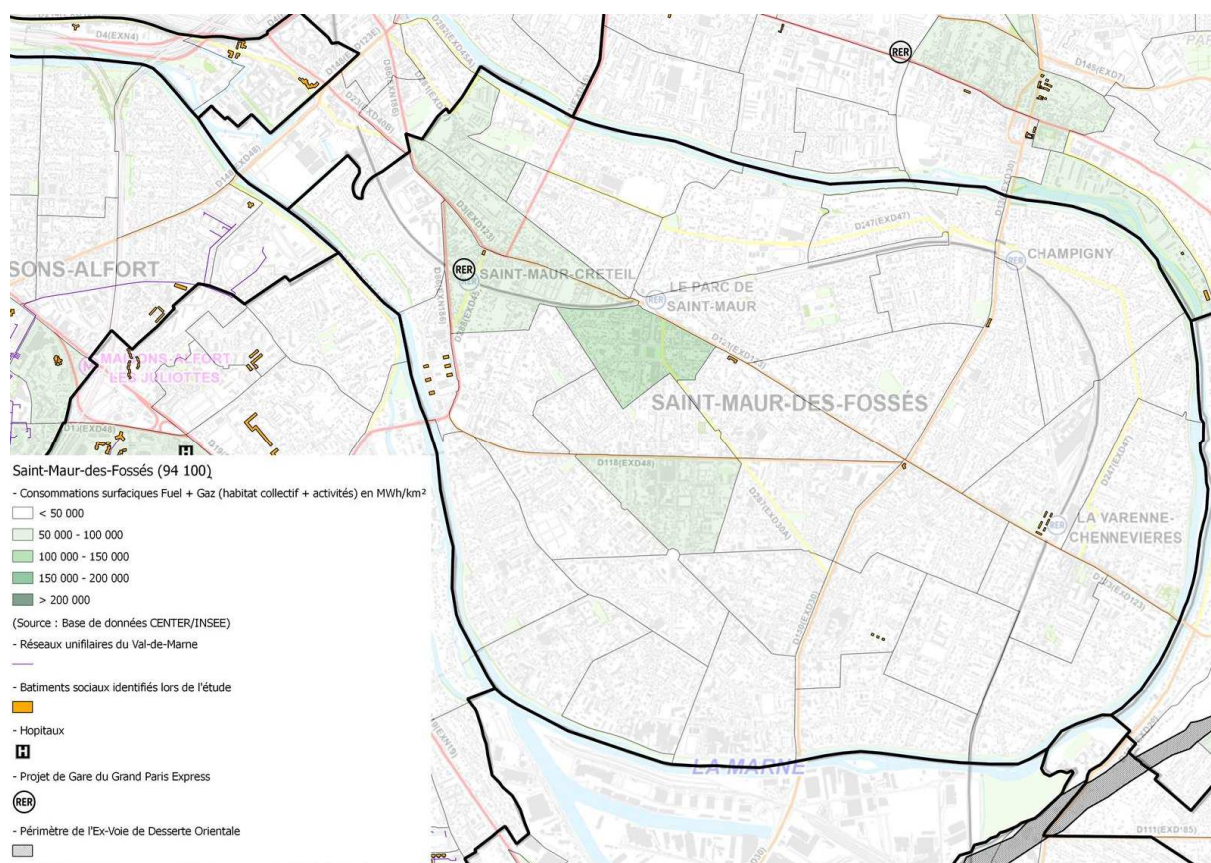
- Potentiel recensé : 43 000 MWh séparés également entre habitat collectif, commerces, bureaux et hôpital
- 40 logements sociaux
- Hôpital Bégin

k) Saint-Maur-des-Fossés

La commune de Saint-Maur-des-Fossés est bordée par la Marne. Celle-ci constitue une frontière naturelle au développement d'un réseau de chaleur en collaboration avec les communes limitrophes (à l'exception de Joinville-le-Pont).

Le potentiel indiqué dans la base de données CENTER pour les usages au gaz naturel et fioul pour l'ensemble de la commune de Saint-Maur-des-Fossés est d'environ 300 000 MWh. Un tiers de ce potentiel concerne de l'habitat collectif chauffé collectivement (environ 8 400 logements raccordables à l'échelle de Ville). Toutefois, cet habitat est quasi exclusivement de l'habitat privé rendant incertain l'opportunité de réaliser une opération de géothermie profonde. Des études approfondies seraient nécessaires afin d'identifier l'ensemble de ce potentiel et juger de la pertinence de développer un réseau de chaleur sur le territoire de la commune de Saint-Maur-des-Fossés.

Il est d'ailleurs à noter qu'excepté pour certains quartiers, cette commune est également en grande partie composée de pavillons, ayant donc un chauffage individuel, ce qui ne rentre pas dans le cadre de l'étude.



1) Saint-Maurice

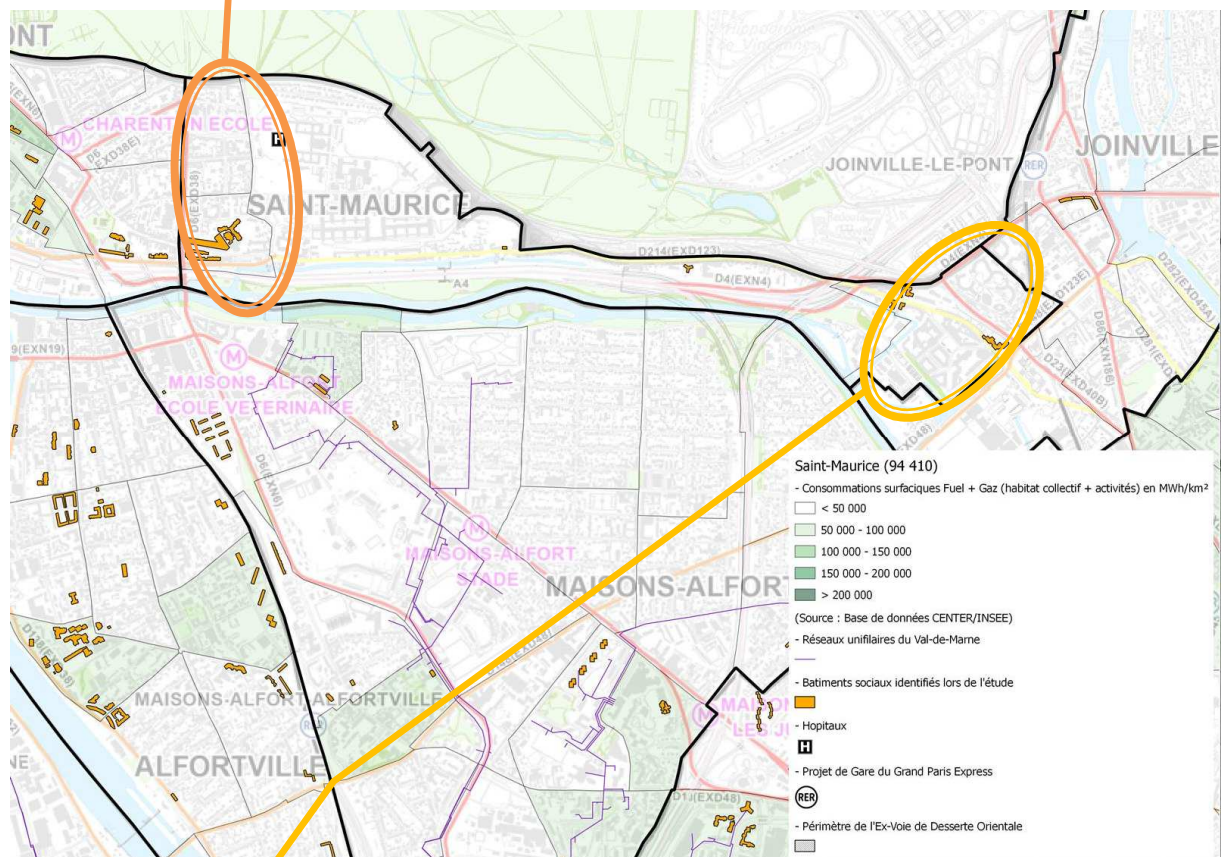
La ville de Saint-Maurice est séparée en deux parties distinctes par l'autoroute A4. Sur la partie Ouest, se trouvent des logements sociaux et les hôpitaux de Saint-Maurice, sur la partie Est, le centre-ville et le quartier Gravelle.

La partie Ouest constitue une base intéressante de consommations énergétiques pour le développement d'un réseau de chaleur mais ne peut à elle-seule le socle d'une opération de géothermie profonde. Pour cette raison, une association avec la ville de Charenton-le-Pont peut être envisagée.

Le potentiel Est semble trop éloigné de la partie Ouest de la Ville pour bénéficier d'une extension. Toutefois, une opération avec le Sud de Joinville-le-Pont et le Nord de Saint-Maur-des-Fossés pourrait être une solution alternative.

Quartiers Le Pont + Le Plateau + Hôpitaux

- Potentiel recensé : 30 000 MWh dont 20 000 MWh pour les hôpitaux
- 242 logements sociaux chauffés collectivement



Quartier Gravelle

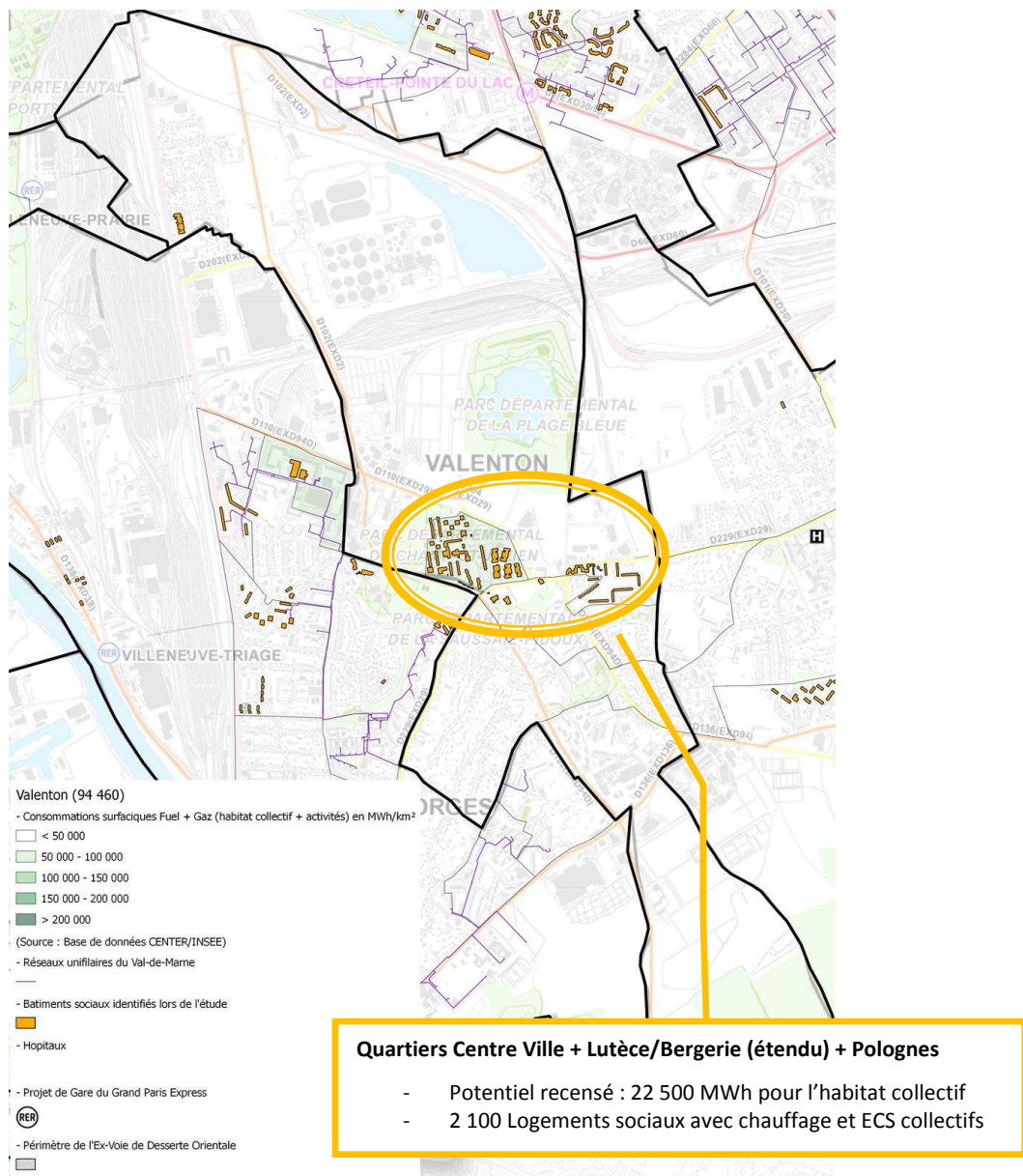
- Potentiel recensé : 7 000 MWh dont 2 500 MWh pour des bureaux et 1 000 MWh pour l'habitat collectif

m) Valenton

La ville de Valenton constitue un axe de développement d'un réseau de chaleur à base géothermale mais ne dispose pas à elle-seule des besoins suffisants en chaleur pour réaliser cette opération.

En effet, il a été identifié par les retours de Bailleurs Immobilière 3F et France Habitation environ 2 100 logements raccordables, bénéficiant d'un chauffage et d'une production d'ECS collective, ce qui constituerait une base de consommation d'environ 22 500 MWh.

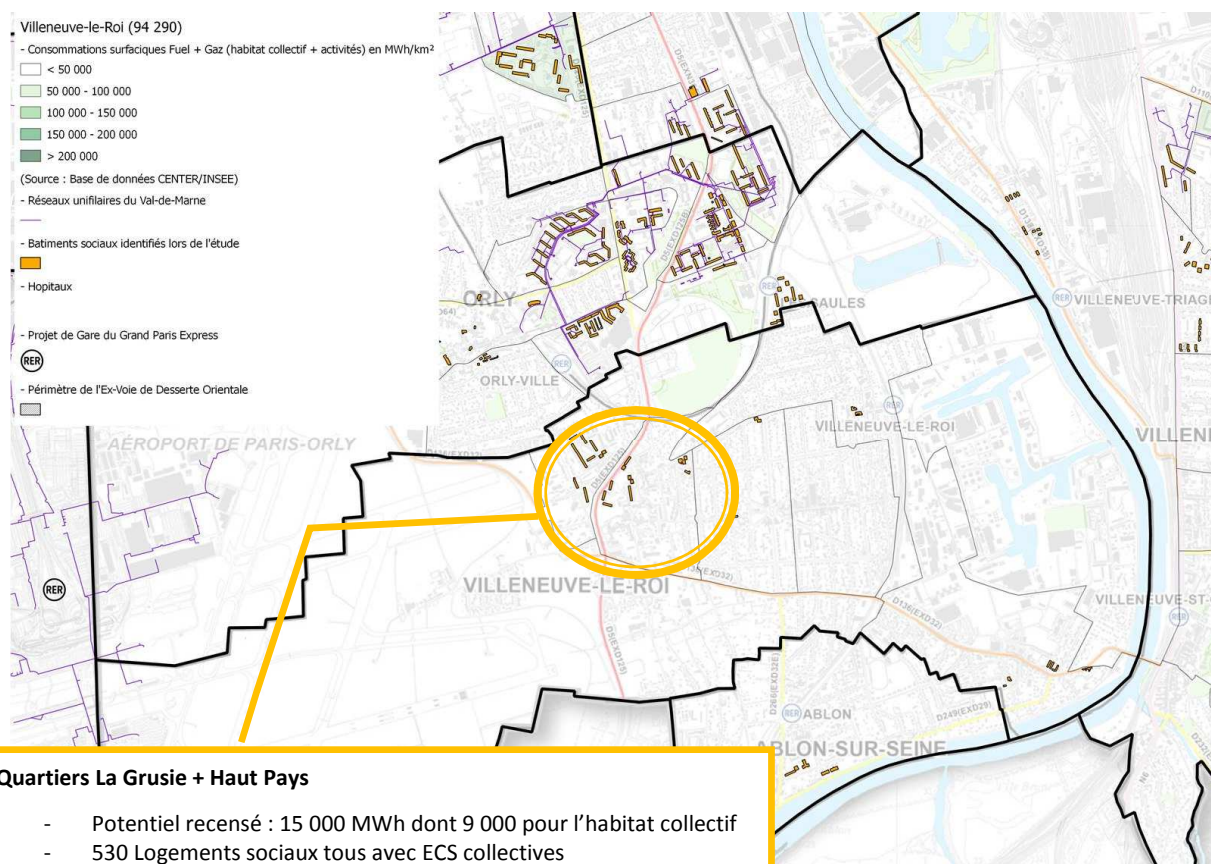
Il sera donc nécessaire d'examiner la zone de Valenton dans son ensemble afin de déterminer la meilleure opportunité car Valenton pourrait constituer une extension du réseau de chaleur de Villeneuve Saint-Georges.



n) Villeneuve-le-Roi

La commune de Villeneuve-le-Roi est située à côté de celle d'Orly, cette dernière ayant un réseau de chaleur s'arrêtant à la limite communale.

Le potentiel identifié par l'étude est d'environ 15 000 MWh. Une grande partie de potentiel est constitué par les logements sociaux de Valophis Habitat. Ce volume n'est pas de nature à constituer une opération de géothermie à lui-seul mais pourrait être raccordable sur le réseau actuel d'Orly. Cette opportunité nécessiterait des études complémentaires.

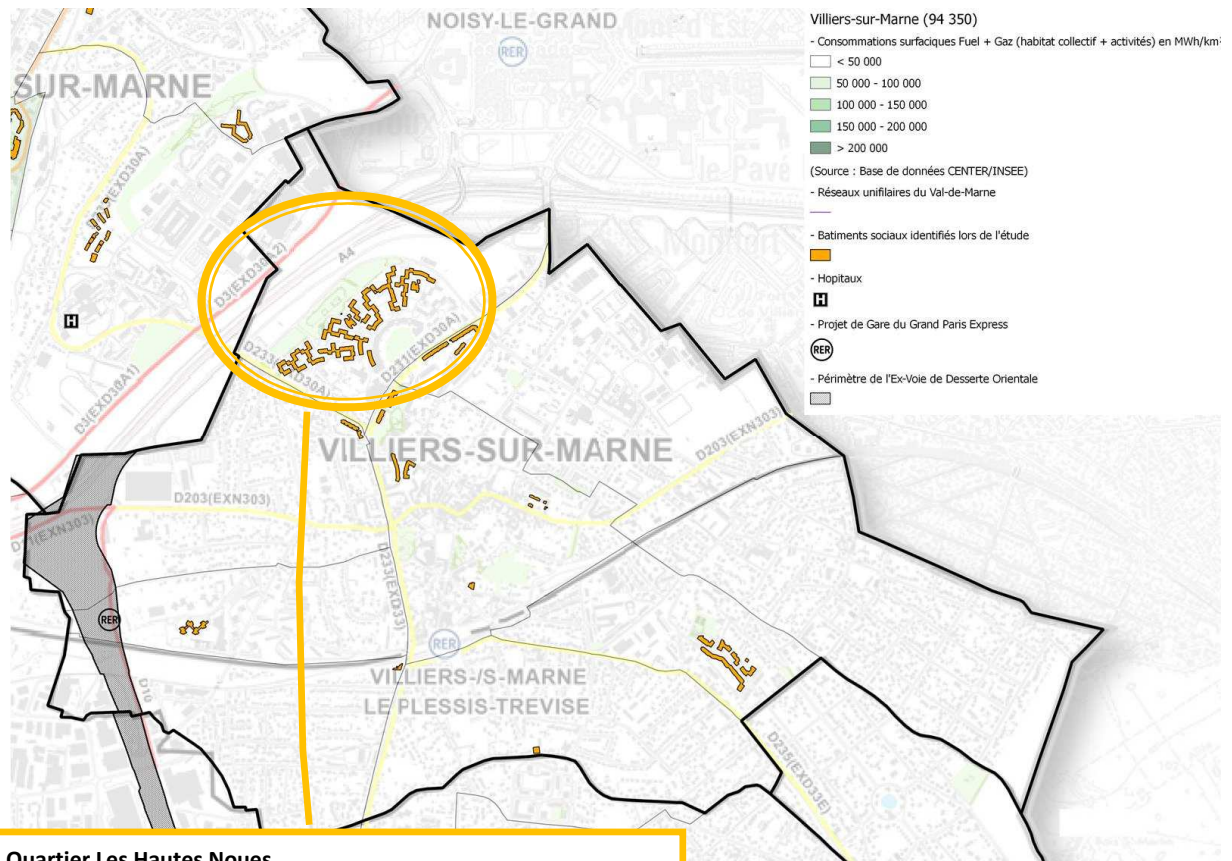


o) Villiers-sur-Marne

Le potentiel de la Ville de Villiers-sur-Marne est essentiellement constitué par le quartier des Hautes Noues. Celui-ci est exclusivement constitué par les logements du bailleur Paris Habitat (1230) et ceux d'une copropriété (environ 500 logements)

Toutefois, ce potentiel est trop faible pour constituer à lui-seul une opération de géothermie profonde.

Cependant, un rapprochement avec la ville de Bry-sur-Marne peut constituer une opportunité intéressante pour l'accès à la ressource géothermale.



Quartier Les Hautes Noues

- Potentiel recensé : 24 000 MWh
- 1 700 Logements sociaux tous avec ECS collective

p) Vincennes

La commune de Vincennes est, comme celle de Saint-Mandé, une ville dense présentant d'importantes consommations de gaz naturel pour les logements collectifs (environ 82 000 MWh pour 9 700 logements raccordables).

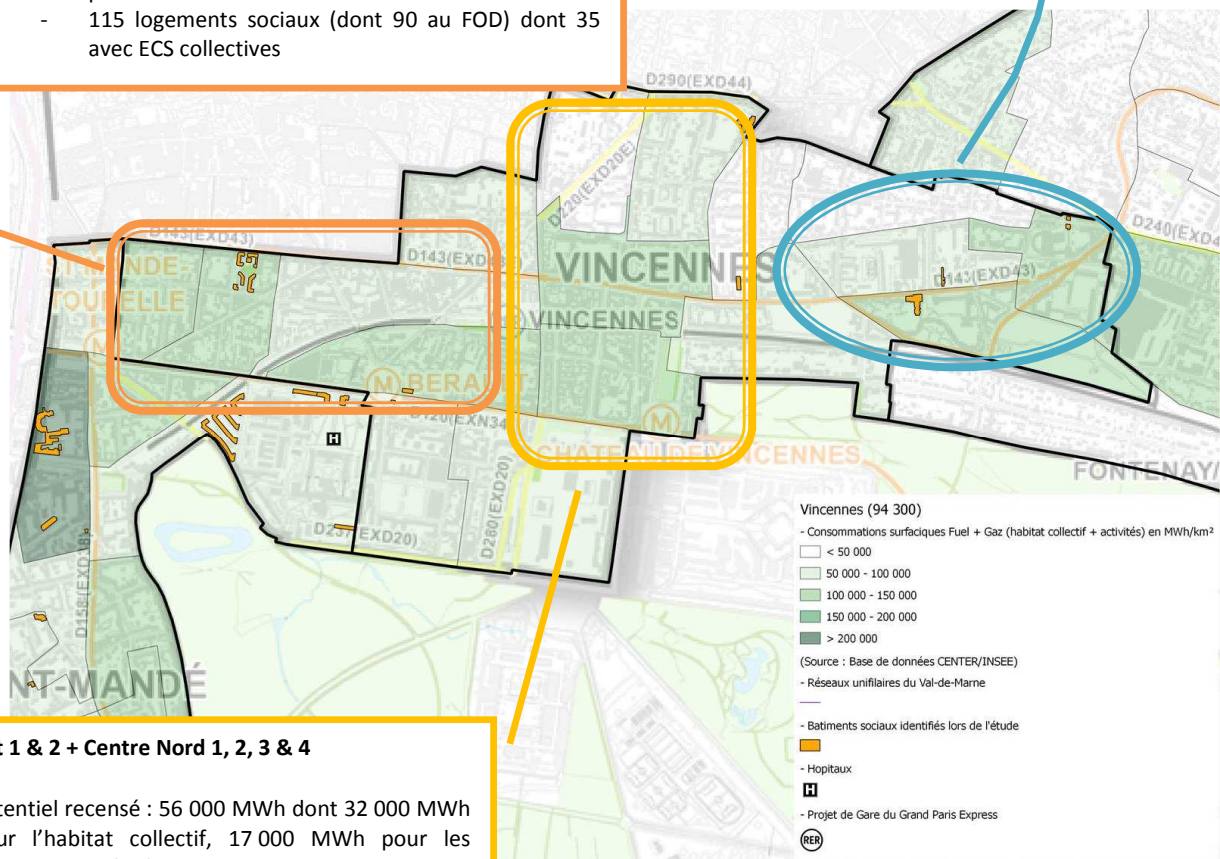
Cependant, ce potentiel pour l'habitat collectif est quasi exclusivement de l'habitat privé. Le potentiel nécessite donc d'être approfondi par études complémentaires afin de déterminer exactement quels seraient les lieux le plus favorables au développement d'un réseau de chaleur à base géothermale.

Quartiers Ouest 1, 2, 3, 4 & 5

- Potentiel recensé : 60 000 MWh dont 27 000 MWh pour l'habitat collectif
- 115 logements sociaux (dont 90 au FOD) dont 35 avec ECS collectives

Quartiers Est 4, 5 & 6

- Potentiel recensé : 30 000 MWh dont 23 000 MWh pour l'habitat collectif
- 135 Logements sociaux dont 125 avec ECS collectives



Quartiers Est 1 & 2 + Centre Nord 1, 2, 3 & 4

- Potentiel recensé : 56 000 MWh dont 32 000 MWh pour l'habitat collectif, 17 000 MWh pour les commerces et les bureaux
- 100 logements sociaux tous avec ECS collectives

3. 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 l'Atlas Départemental.

	Dogger	Lusitanien	Albien/Néocomien	Commentaires
Alfortville	X			Géothermie existante
Arcueil	X			Projet de géothermie en cours
Bonneuil-sur-Marne	X			Géothermie existante
Cachan	X			Géothermie existante
Chevilly-Larue	X			Géothermie existante
Choisy-le-Roi	X			Projet de géothermie en cours
Créteil	X			Géothermie existante
Fresnes	X			Géothermie existante
Gentilly	X			Projet de géothermie en cours
Ivry-sur-Seine	X			Projet de géothermie en cours
L'Haÿ-les-Roses	X			Géothermie existante
Maisons-Alfort	X			Géothermie existante
Orly	X			Géothermie existante
Sucy-en-Brie	X			Géothermie existante
Thiais	X			Géothermie existante
Villeneuve-Saint-Georges	X			Géothermie existante
Villejuif	X			Géothermie existante
Vitry-sur-Seine	X	X		Projet de géothermie en cours

Figure 85 : Communes du Groupe 3

a) Alfortville

La commune d'Alfortville possède déjà un réseau de chaleur à base de géothermie (88%) qui alimente près de 5 000 équivalents-logements. La réalisation d'extensions vers le Nord est envisageable (environ 4 000 logements raccordables) mais nécessite de réaliser des études technico-économiques afin de vérifier la viabilité d'un tel projet. D'autre part, peu de densifications sont à entrevoir sur le périmètre actuel du réseau.

Le réseau d'Alfortville est entouré par des obstacles (Seine, voies ferrées) dont le franchissement, en vue de réaliser une interconnexion avec les réseaux avoisinant, engendrerait un coût économique qui obèrerait leur réalisation.

b) Arcueil – Gentilly

Arcueil et Gentilly se dotent actuellement d'un réseau de chaleur en commun à base de géothermie (à 65%).

Ce réseau possède un vecteur d'interconnexion avec le réseau de la CPCU. Le délégataire envisage d'ailleurs cette option, en cas de développement important et non prévu au périmètre initial de réalisation du réseau, pour fournir la chaleur complémentaire. De même, ce réseau présente actuellement les possibilités de densification.

En revanche, ce dernier dessert déjà une grande partie des 2 communes et possède très peu d'opportunités d'extension futures, hormis vers l'ouest d'Arcueil (Fort de Montrouge).

c) Bonneuil-sur-Marne

La commune de Bonneuil-sur-Marne possède déjà son propre réseau de chaleur à base de géothermie (à 65%) alimentant près de 3 000 équivalents-logements.

Malgré sa proximité avec le réseau de Créteil et bien que disposant des mêmes caractéristiques techniques (réseau d'eau chaude $\leq 110^{\circ}\text{C}$), l'interconnexion de ces réseaux semble compliquée : dans les deux cas, il s'agit d'extrémité de réseau. Pour ces raisons des études complémentaires devront être envisagées en cas de choix commun pour cette solution.

La possibilité d'une extension n'est pas envisageable car les zones actuellement non desservies sont essentiellement pavillonnaires ou d'activités. Un développement du réseau vers le quartier de la Haie Griselle à Boissy-Saint-Léger est également possible. Enfin il dispose de peu d'opportunités de densification hormis sur les bâtiments nouvellement créés dans le cadre de l'ANRU.

d) Cachan

La commune de Cachan possède déjà un réseau de chaleur à base de géothermie (à 78%) qui alimente près de 8 000 équivalents-logements.

Il est trop éloigné du réseau de la SEMHACH pour envisager une interconnexion et dessert déjà la majorité des zones d'habitat collectif. Les zones non desservies possèdent un mode de chauffage incompatible avec un réseau de chaleur.

Le réseau de chaleur possède actuellement une très bonne pénétration sur les logements collectifs de la Ville (taux de raccordement estimé à 90 %), ce qui fait que des opérations de densification ponctuelles peuvent être envisagées pour le réseau de Cachan sur des bâtiments communaux et/ou départementaux.

e) Chevilly-Larue – L'Haÿ-les-Roses – Villejuif (SEMHACH)

Le réseau de chaleur à base de géothermie de la SEMHACH dessert déjà les Villes de Chevilly-Larue, l'Haÿ-les-Roses et Villejuif.

Ce dernier pourrait être interconnecté avec celui de Choisy-Vitry et/ou celui de la SEMMARIS car il se trouve dans les deux cas à seulement 500 mètres. De plus, on dénombre d'importants potentiels d'extension de ce réseau sur la ville de Villejuif.

Sur cette zone, tous les bâtiments ne sont pas encore raccordés au réseau, on peut donc envisager la possibilité d'une densification.

f) Choisy-le-Roi

La ville de Choisy-le-Roi possède déjà deux réseaux de chaleur :

- L'un à base géothermale (Orly/Choisy)
- L'autre à base d'énergie fossile (Choisy/Vitry fourni par la CPCU)

Il est à noter que la partie Est de la Ville de Choisy-le-Roi n'a pas accès à ces réseaux de par la frontière naturelle que constitue la Seine. Seul un développement très important du réseau de chaleur d'Alfortville pourrait fournir cette zone.

g) Créteil

Créteil possède déjà un réseau de chaleur essentiellement alimenté au gaz (à 50%) pour près de 33 000 équivalents-logements. Le réseau de Créteil réalise actuellement l'interconnexion de tous les réseaux le constituant. Une interconnexion pourrait éventuellement être envisagée avec le réseau de Bonneuil-sur-Marne mais celle-ci semble difficile car les débits disponibles en bout des 2 réseaux sont faibles.

Des opportunités d'extensions apparaîtraient au Nord et à l'Est de la Ville, ainsi qu'en direction de l'Hôpital H. Mondor. Il pourrait également être densifié avec des potentiels de raccordements situés à proximité immédiate du réseau.

La conversion actuelle de ce réseau lui permettra, d'ici 2015, d'être majoritairement alimenté en EnR&R et de faire bénéficier ses abonnés d'une TVA réduite.

h) [Fresnes](#)

La ville de Fresnes possède déjà un réseau de chaleur à base de géothermie alimentant près de 6 500 équivalents-logements.

Il n'y a sur ce réseau pour l'instant aucune opportunité d'interconnexion. Bien qu'étant à proximité du réseau de la SEMAHCH, il s'agit des extrémités du réseau de part et d'autre.

Le réseau de Fresnes dispose d'important potentiel de densification, celui-ci est de nature à doubler la taille du réseau actuel.

i) [Ivry-sur-Seine](#)

Ivry-sur-Seine possède déjà un réseau de chaleur qui alimente près de 4 500 équivalents-logements. Des études sont actuellement en cours en vue de créer un réseau de chaleur à base de géothermie sur la ZAC Confluences.

De plus, ce nouveau réseau pourrait interconnecter les deux réseaux existants (Casanova et PMC) ; la fourniture de chaleur par le réseau de Vitry/Choisy pourrait aussi envisagée. Enfin, dans le cadre de la procédure de DSP pour la création du réseau d'Ivry-Confluences, une option d'export de chaleur vers les réseaux du centre-ville a été intégrée.

En dehors du projet sur la ZAC Confluences, de nombreuses extensions et de densifications peuvent être envisagées tant vers l'ouest de la ville que vers le sud.

Le réseau d'Ivry-sur-Seine utilise exclusivement des énergies fossiles (à 99% de gaz), sa conversion vers un réseau utilisant des EnR&R est envisageable soit grâce au projet d'Ivry-Confluences, soit avec une interconnexion avec Vitry-sur-Seine.

j) [Maisons-Alfort](#)

Maisons-Alfort possède déjà un réseau de chaleur à base de géothermie (à 50%) qui alimente près de 12 000 équivalents-logements.

Le réseau de Maisons-Alfort possède également une excellente pénétration dans l'habitat collectif de la Ville. Peu de densifications peuvent être actuellement envisagées.

k) [Orly](#)

La ville d'Orly est partagée entre deux réseaux de chaleur : Orly-Choisy et Orly ADP.

- Réseau d'Orly-Choisy

Orly possède déjà un réseau de chaleur à base de géothermie (à 88%) qui alimente près de 7 500 équivalents-logements (réseau d'Orly-Choisy). Ce dernier pourrait envisager une interconnexion avec les réseaux de Choisy-Vitry et/ou de Thiais.

De plus, il existe des opportunités d'extensions vers le centre-ville d'Orly et Villeneuve-le-Roi. Enfin, il dispose de potentialités importantes pour se densifier en raison des nombreux projets d'aménagement et de restructuration actuellement en cours et/ou prévus.

- Réseau d'Orly ADP

Le réseau d'Orly possède un réseau de chaleur à 50% de gaz et 50% d'EnR&R. Celui-ci est déjà interconnecté avec celui de Rungis. D'importants développements sont prévus sur ce réseau avec la création de la ZAC Cœur d'Orly.

l) Sucy-en-Brie

La commune de Sucy-en-Brie possède déjà un réseau de chaleur à base de géothermie (à 70%) qui alimente près de 3 000 équivalents-logements. Celui-ci ne peut être interconnecté, faute de réseaux se situant à proximité (3,6 km pour le plus proche).

Il ne dispose pas de grandes opportunités d'extension vers d'autres quartiers de la ville, ces derniers étant soit majoritairement pavillonnaires, soit équipés de modes de chauffage incompatibles avec le réseau de chaleur.

Seules des opérations de densification ponctuelles pourraient être envisagées.

m) Thiais

Thiais possède déjà un réseau de chaleur à base géothermale (à 87%) qui alimente près de 3 500 équivalents-logements. Il est entouré par de nombreux réseaux (SEMMARIS, Orly-Choisy et de Choisy-Vitry) et pourrait être interconnecté avec eux.

Le réseau de Thiais dispose d'un potentiel de développement important, soit par extension, soit par densification.

n) Villeneuve-Saint-Georges

Villeneuve-Saint-Georges possède déjà un réseau de chaleur à base de géothermie (à 57%) qui alimente près de 5 000 équivalents-logements.

Ce réseau ne peut être interconnecté car le réseau le plus proche est à plus de 3 km. En revanche, il peut envisager une importante extension vers la Ville de Valenton, sous réserve de faisabilité technico-économique.

De plus, une extension vers le centre-ville pourrait également être envisagée mais les potentiels de raccordement semblent diffus. Les possibilités de densification sur le réseau sont très faibles.

o) Vitry-sur-Seine

Vitry-sur-Seine possède déjà un réseau de chaleur qui alimente près de 17 000 équivalents-logements. Des études sont actuellement en cours en vue de créer deux réseaux de chaleur à base géothermale :

- L'un sur la ZAC Seine-Gare, sur l'aquifère du Lusitanien
- L'autre sur la ZAC Gare des Ardoines, sur l'aquifère du Dogger

Ce réseau présente d'importantes potentialités d'interconnexion de par sa technologie (eau surchauffée), lui permettant de réaliser des exportations de chaleur. Celles-ci pourraient être réalisées vers les réseaux de Thiais, d'Orly/Choisy ou encore d'Ivry-sur-Seine.

Il peut, de plus, réaliser des extensions vers le nord et l'est de la Ville et densifier son réseau car cette ville possède un grand patrimoine en habitat collectif.

Actuellement avec un bouquet énergétique dont le taux d'ENR&R est inférieur à 50%, le réseau de Choisy-Vitry réalise les travaux nécessaires pour l'augmenter à plus de 50 % (interconnexion avec le réseau de la SEMMARIS). Il peut également bénéficier, à moyen termes, de l'apport de la géothermie pour assurer la fourniture de chaleur sur les importants projets d'aménagement que sont la ZAC Seine-Gare (Lusitanien) et la ZAC de la Gare des Ardoines (Dogger).

4. Groupe 4

Le groupe 4 rassemble toutes les « **Villes où les besoins en surface et/ou les ressources géothermiques 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 l'Atlas Départemental.

	Dogger	Lusitanien	Albien/Néocomien	Commentaires
Ablon-sur-Seine				<p>Besoins en surface jugés insuffisants, pour une géothermie profonde, dans le cadre de cette pré-étude.</p> <p>Toutefois, le recours, ponctuel, à une géothermie de surface peut être envisagé pour certains ensembles.</p>
Le Plessis-Trévisé				
La Queue-en-Brie				
Mandres-les-Roses				
Marolles-en-Brie				
Noiseau				
Ormesson-sur-Marne				
Périgny-sur-Yerres				
Rungis				
Santeny				
Villemecresnes				

Figure 86 : Communes du Groupe 4

a) Ablon-sur-Seine

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération de géothermie profonde, les besoins en surface de la commune d'Ablon-sur-Seine sont jugés insuffisants. Néanmoins, le développement de géothermie de surface, collective ou individuelle, peut être incité.

b) Le Plessis-Trévisé

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération de géothermie profonde, les besoins en surface de la commune du Plessis-Trévisé sont jugés insuffisants. En effet, près des $\frac{3}{4}$ des habitations de la ville sont chauffés avec des appareils individuels, systèmes incompatibles avec la création d'un réseau de chaleur. Néanmoins, le développement de géothermie de surface, collective ou individuelle, peut être incité.

c) [La Queue-en-Brie](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération de géothermie profonde, les besoins en surface de la commune de La Queue-en-Brie 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 de surface, collective ou individuelle, peut être incité.

d) [Mandres-les-Roses](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération de géothermie profonde, les besoins en surface de la commune de Mandres-les-Roses sont jugés insuffisants. En effet, près des ¾ des habitations de la ville sont des maisons, habitat incompatible avec la création d'un réseau de chaleur. Néanmoins, le développement de géothermie de surface, collective ou individuelle, peut être incité.

e) [Marolles-en-Brie](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération de géothermie profonde, les besoins en surface de la commune de Marolles-en-Brie sont jugés insuffisants. En effet, près des 90% des habitations de la ville sont des maisons, habitat incompatible avec la création d'un réseau de chaleur. Néanmoins, le développement de géothermie de surface, collective ou individuelle, peut être incité.

f) [Noiseau](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération de géothermie profonde, les besoins en surface de la commune de Noiseau sont jugés insuffisants. En effet, près des ¾ des habitations de la ville des maisons, habitat incompatible avec la création d'un réseau de chaleur. Néanmoins, le développement de géothermie de surface, collective ou individuelle, peut être incité.

g) [Ormesson-sur-Marne](#)

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération de géothermie profonde, les besoins en surface de la commune d'Ormesson-sur-Marne sont jugés insuffisants. En effet, près des 95% des habitations de la ville sont des maisons, habitat incompatible avec la création d'un réseau de chaleur. Néanmoins, le développement de géothermie de surface, collective ou individuelle, peut être incité.

h) Périgny-sur-Yerres

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération de géothermie profonde, les besoins en surface de la commune de Périgny-sur-Yerres sont jugés insuffisants. En effet, près des $\frac{3}{4}$ des habitations de la ville sont des maisons, habitat incompatible avec la création d'un réseau de chaleur. Néanmoins, le développement de géothermie de surface, collective ou individuelle, peut être incité.

i) Rungis

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération de géothermie profonde, les besoins en surface de la commune de Rungis sont jugés insuffisants. En effet, près des $\frac{2}{3}$ des habitations de la ville sont chauffés avec des appareils individuels, systèmes incompatibles avec la création d'un réseau de chaleur. Néanmoins, le développement de géothermie de surface, collective ou individuelle, peut être incité.

j) Santeny

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération de géothermie profonde, les besoins en surface de la commune de Santeny sont jugés insuffisants. En effet, près de 90% des habitations de la ville sont des maisons, habitat incompatible avec la création d'un réseau de chaleur. Néanmoins, le développement de géothermie de surface, collective ou individuelle, peut être incité.

k) Villecresnes

Bien que le potentiel géologique soit favorable à une opération de géothermie profonde, les besoins en surface de la commune de Villecresnes sont jugés insuffisants. En effet, près des $\frac{3}{4}$ des habitations de la ville sont des maisons, habitat incompatible avec la création d'un réseau de chaleur. Néanmoins, le développement de géothermie de surface, collective ou individuelle, peut être incité.

3. Analyse des potentialités de la géothermie profonde

A. Aspects économiques des réseaux de chaleur géothermiques

1. 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 Août 2013)	Coûts d'investissement (HT)
Géothermie		
Réalisation d'un doublet au Dogger (inclus assurance Chantier)		10 000 k€
Réalisation d'un doublet au Lusitanien (inclus assurance Chantier)		9 000 k€
Réalisation d'un doublet à l'Albien/Néocomien (inclus assurance Chantier)		4 000 k€
Equipements du puits de production (pompage, traitement inhibiteur...)		1 400 k€
Centrale géothermique		300 k€
Pompe à Chaleur (y compris équipement et bâtiments)		375 k€/MW
Assurances		
Assurance Long terme		15 000 €/an
Assurance Court terme		3,5 % d'un doublet
Réseau de distribution de Chaleur		
Chaufferie d'appoint (avec équipement et pose)		125 k€/MW
Réalisation d'une sous-station		57 000 €/unité
Réseau de distribution		1 000 €/ml
Etudes (Avant-projet sommaire à la Réalisation)		8 % (hors assurances)

Figure 87 : Coûts d'investissements retenus pour l'évaluation économique des potentialités

2. 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.

3. 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 5,5 %. Le montant financé sera celui de l'investissement total déduit des aides du Fonds Chaleur.

4. 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 Août 2013)	Coût (€ HT/MWh)
Gaz	45
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 Août 2013)	P2 (Conduite – Maintenance)	P3 (Gros entretien / Renouvellement)
Ensemble du réseau / an	19 k€ HT/kW installation	10 k€ HT/kW installation

- 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 47,5 € HT.
- P2/P3 : En supposant qu'il faille installer 20 MW de puissance gaz pour 40 000 MWh utile par an, la somme des postes P2 et P3 serait égale à 14,5 € 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 5,5 %, ce qui fait un P4 à 8,9 € HT/MWh utile de chaleur.

Au final, le cout d'un MWh de chaleur utile produit par un réseau de chaleur au Gaz serait égal à 70,9 € HT, soit environ 81,5 € TTC.

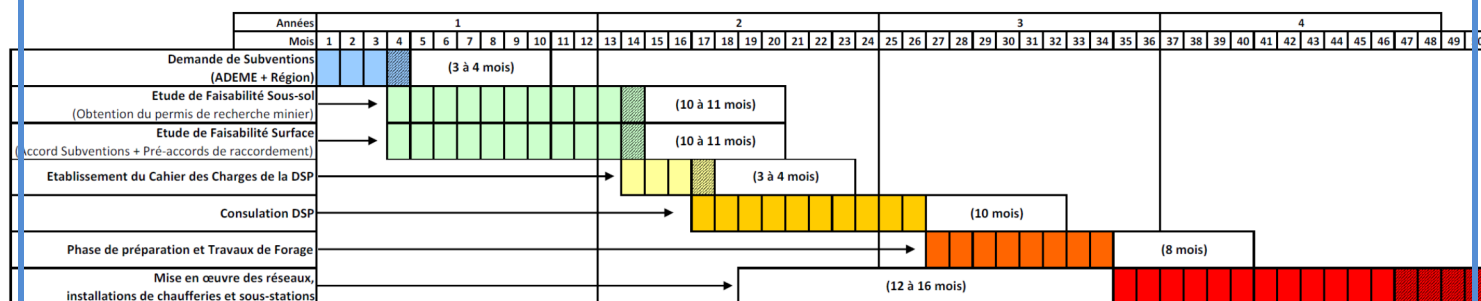
▪ Intérêt d'un raccordement pour un bailleur social

Pour un bailleur social possédant un immeuble de 100 logements chauffés 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 81 € TTC/MWh utile (valeur août 2013).

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 70 et 77 € HT / MWh utile (pour rappel, en 2011, prix moyen de vente de la chaleur sur un réseau géothermique = 63,8 € HT / MWh utile).

5. 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 préfaisabilité.

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 300 m³/h, il s'agit du débit minimal potentiellement atteignable pour toute nouvelle opération au Dogger. Dans les cas potentiels à l'Albien ou au Lusitanien, le débit d'exploitation retenu est entre 150 et 200 m³/h suivant la position du potentiel.

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 quartier).

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 5,5. 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. L'appoint au gaz est placé en série des pompes à chaleur.

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%.

1. Champigny sur-Marne

a) Description technique de l'opération

La ville de Champigny-sur-Marne possède déjà un réseau de chaleur sur le quartier des Mordacs/Bois l'Abbé. Cependant, il semblerait qu'il existe un potentiel suffisant dans le quartier des 4 Cités pour justifier d'une opération au Dogger. Cette opération serait idéalement complétée par les aménagements prévus dans le cadre de l'urbanisation de l'ancienne Voie de Desserte Orientale.

▪ Périmètre retenu

Pour l'existant, le périmètre retenu concerne les quartiers des 4 Cités ainsi que République. Dans le cadre de l'aménagement de l'ex-VDO, il est retenu les programmations de ZAC Stalingrad, de la ZAC des Bords de Marne, de la ZAC des Simonettes Nord ainsi que la future gare du Grand Paris Express (Champigny Centre). L'ensemble à urbaniser est de 158 000 m² pour des logements et 52 300 m² pour des équipements publics.

▪ Patrimoine Social Raccordable

Le patrimoine social raccordable de cette potentielle opération est quasi exclusivement à la charge de Valophis Habitat.

<i>Bailleur</i>	<i>Nombre de Logements Chauffés au Gaz Collectif</i>	<i>dont ECS Collective</i>	<i>dont panneaux de sol</i>
<i>OPH du Val-de-Marne (Groupe Valophis)</i>	<i>2 371</i>	<i>742</i>	<i>-</i>
<i>Copropriétés</i>	<i>1 589</i>	<i>1 589</i>	<i>-</i>
TOTAL	3 960	2 331	-

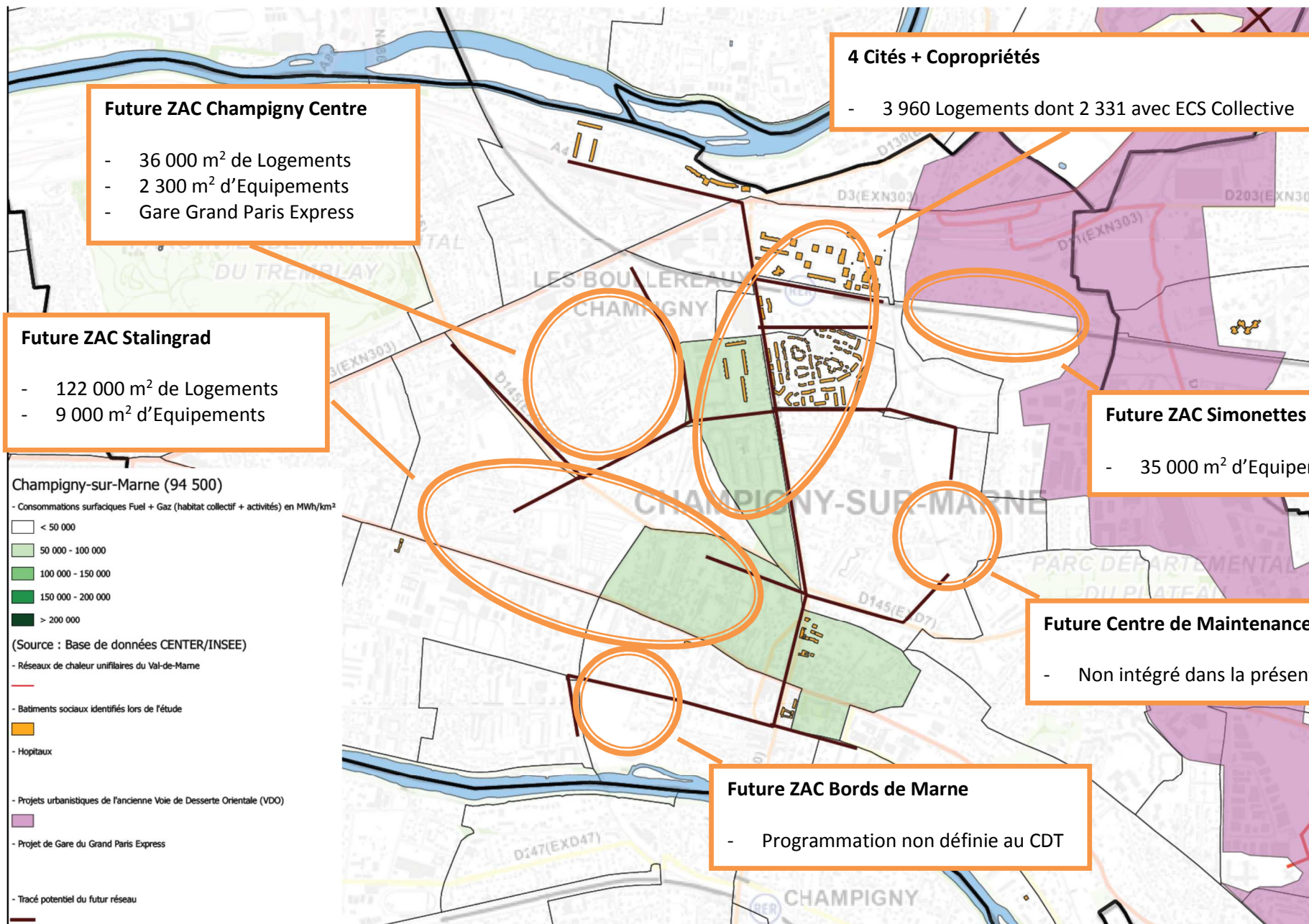
Figure 88 : Patrimoine social potentiellement raccordable dans le périmètre d'étude de la commune de Champigny-sur-Marne

▪ Patrimoine Communal et Départemental

Il a été identifié 2 Collèges et 1 Lycée comme étant potentiellement raccordable, soit environ 430 équivalent-logements.

▪ Carte

Le positionnement des sites raccordables sur la carte de la Ville de Champigny montre que le réseau aurait besoin d'être de taille importante pour relier tous les postes de livraison. Il est évalué à 13,5 km.



Future ZAC Champigny Centre

- 36 000 m² de Logements
- 2 300 m² d'Equipements
- Gare Grand Paris Express

4 Cités + Copropriétés

- 3 960 Logements dont 2 331 avec ECS Collective

Future ZAC Stalingrad

- 122 000 m² de Logements
- 9 000 m² d'Equipements

Future ZAC Simonettes Nord

- 35 000 m² d'Equipements

Future Centre de Maintenance Ferroviaire

- Non intégré dans la présente étude

Future ZAC Bords de Marne

- Programmation non définie au CDT

- Champigny-sur-Marne (94 500)
- Consommations surfaciques Fuel + Gaz (habitat collectif + activités) en MWh/km²
 - < 50 000
 - 50 000 - 100 000
 - 100 000 - 150 000
 - 150 000 - 200 000
 - > 200 000
- (Source : Base de données CENTER/INSEE)
- Réseaux de chaleur unifilaires du Val-de-Marne
 - Batiments sociaux identifiés lors de l'étude
 - Hopitaux
 - Projets urbanistiques de l'ancienne Voie de Desserte Orientale (VDO)
 - Projet de Gare du Grand Paris Express
 - Tracé potentiel du futur réseau

▪ Résultats Energétiques et Environnementaux

<u>Données Sous-sol</u>	
Aquifère	Dogger
Débit Géothermal	300 m ³ /h
Température d'exhaure	70 °C
<u>Données Surface</u>	
Nombre de logements	3 960
Nombre d'ECS	2 331
Proportion de Radiateurs	80 % des besoins en chauffage
Longueur de réseau à créer	13 500 m
Nombre de Sous-stations	70

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

<u>Performances Energétiques</u>	
Production Totale de Chaleur	60 633 MWh
Besoins des Abonnés (CAF + ECS)	57 746 MWh
<i>Dont bâtiments à construire</i>	<i>11 783 MWh</i>
Fourniture Géothermique	44 808 MWh
Fourniture de l'Appoint Gaz	15 825 MWh
Taux de Couverture moyen	73,9%
<u>Performances Environnementales</u>	
CO ₂ évités (comparé au gaz)	11 300 tonnes
TEP évitées (comparé au gaz)	3 853 TEP
Contenu en CO ₂	62 g(CO ₂)/KWh _{utile}

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

- Perspectives pour optimiser les résultats

A ce stade de l'étude, le projet semble favorable, mais plusieurs éléments peuvent encore optimiser l'opération potentielle : densification et ajout du patrimoine communal.

D'autre part, le regroupement de tous les bâtiments avec radiateurs au centre du réseau potentiel permet d'envisager sérieusement une architecture en cascade de température pour fournir tous les nouveaux bâtiments situés en périphérie du réseau.

b) Analyse économique

- Investissements & Aides

<u>Estimation des Investissements Sous-sol</u>	
Forage pour un doublet	11 200 000 €
Centrale Géothermale (bâtiments et équipements inclus)	3 200 000 €
Etudes & Assurances	1 050 000 €
<u>Total Investissement Sous-sol</u>	15 450 000 €
<u>Estimation des Investissement Surface</u>	
Chaufferies d'appoint et Sous-stations	3 290 000 €
Création du réseau de distribution	16 650 000 €
Etudes	1 851 200 €
<u>Total Investissement Surface</u>	21 791 200 €
<u>Total Investissements</u>	37 241 200 €
<u>Estimation des Aides du Fonds Chaleur</u>	
Estimation des aides Sous-sol	3 852 788 €
Estimation des aides Surface	4 320 000 €
<u>Total Investissements avec Aides</u>	29 068 412 €

Figure 91 : Estimations des investissements et des aides allouées pour la création d'un réseau à base géothermique (Valeur Août 2013)

▪ *Compte d'exploitation prévisionnel*

<u>Bilan Comptable Annuel Prévisionnel (Sous-sol & Surface)</u>	
P1 : Energies	848 644 €
P2 : Entretien / Conduite	328 374 €
P3 : Gros Entretien / Renouvellement	251 733 €
Autres Charges (y compris amortissements)	437 021 €
Total Annuel	1 865 772 €

Figure 92 : Estimation du bilan comptable annuel pour le concessionnaire du réseau (Valeur Août 2013)

Avec environ 1,8 M€ HT de charges annuelles, pour un obtenir un TRI de 8%, le délégataire devrait fixer un coût moyen de la chaleur à 76,7 €HT/MWh utile.

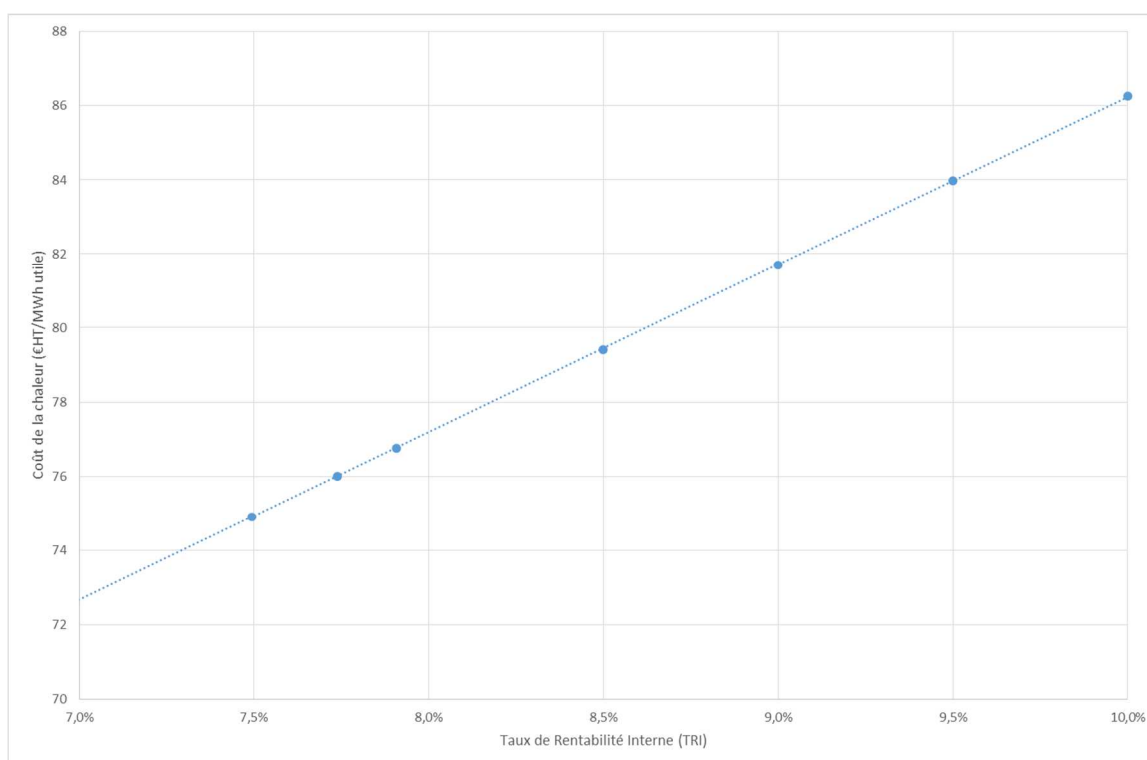


Figure 93 : Evolution du Coût du MWh utile en fonction du TRI voulu par le concessionnaire

2. Le Kremlin-Bicêtre

a) Description technique de l'opération

La commune du Kremlin-Bicêtre a été identifiée comme potentiellement intéressante pour la réalisation d'une opération de géothermie profonde. Cependant, comme tenu de la très forte densité de doublets géothermal présents dans le secteur (Arcueil-Gentilly à l'ouest, Villejuif au Sud et Ivry-sur-Seine à l'ouest) accédant à la ressource du Dogger, ce réservoir n'a pas été retenu comme cible. Ainsi, une opération à l'Albien a donc été retenue.

▪ Périmètre retenu

Le périmètre retenu pour le Kremlin-Bicêtre est toute la partie Sud-Ouest de la ville, avec l'Hôpital de Bicêtre. L'étude est essentiellement basée sur les bâtiments sociaux appartenant à SNI autour du Fort de Bicêtre et des bâtiments de l'Office HLM du Kremlin-Bicêtre.

Dans ce périmètre est également prévu par la ville du Kremlin-Bicêtre la création de 45 000 m² SHON de logements (soit environ 500) dans le cadre d'une ZAC.

▪ Patrimoine Social Raccordable

La majorité du patrimoine potentiellement raccordable appartient l'Office HLM Kremlin-Bicêtre Habitat. Le reste des logements identifiés est à la charge du bailleur SNI.

<i>Bailleur</i>	<i>Nombre de Logements Chauffés au Gaz Collectif</i>	<i>dont ECS Collective</i>	<i>dont panneaux de sol</i>
<i>Kremlin-Bicêtre Habitat</i>	<i>1 422</i>	<i>380</i>	<i>-</i>
<i>SNI</i>	<i>787</i>	<i>787</i>	<i>787</i>
TOTAL	2 209	1 167	787

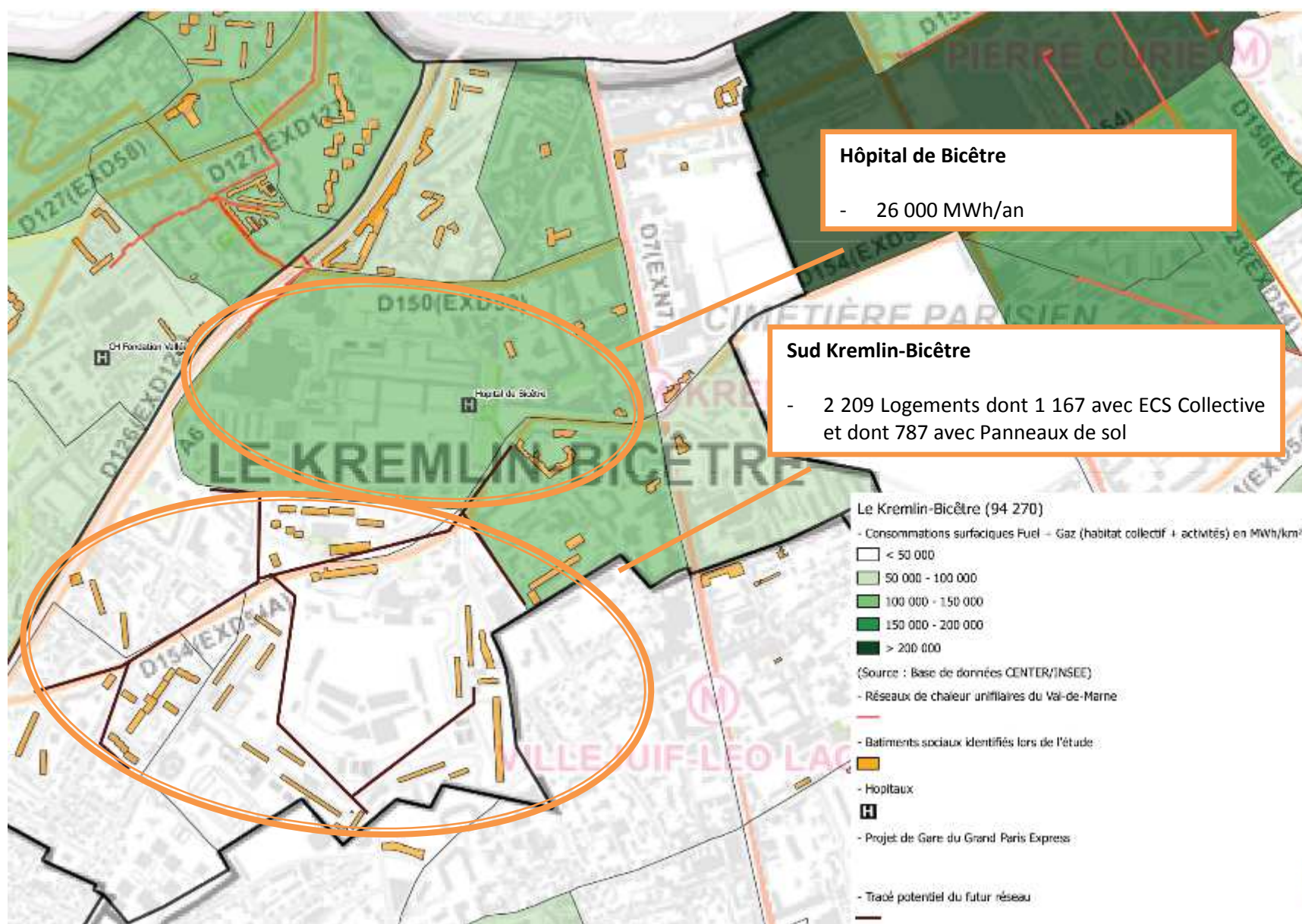
Figure 94 : Patrimoine social potentiellement raccordable dans le périmètre d'étude de la commune du Kremlin-Bicêtre

▪ Patrimoine Communal et Départemental

Le patrimoine du Conseil Général retenu est constitué de deux crèches (C. Gide et République) ainsi que deux collèges (A. Cron et J. Perrin) et une maison d'aide sociale pour l'enfance. Il est également à noter la présence d'une piscine intercommunale.

▪ Carte

Les sites potentiels sont regroupés dans une partie restreinte de la ville, le réseau serait donc de « petite » taille (4,5 km).



▪ Résultats Energétiques et Environnementaux

<u>Données Sous-sol</u>	
Aquifère	Albien
Débit Géothermal	175 m ³ /h
Température d'exhaure	32 °C
<u>Données Surface</u>	
Nombre de logements	2 209
Nombre d'ECS	1 179
Proportion de Radiateurs	64 %
Longueur de réseau à créer	4 500 m
Nombre de Sous-stations	35

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

<u>Performances Energétiques</u>	
Production Totale de Chaleur	62 364 MWh
Besoins des Abonnés (CAF + ECS)	59 395 MWh
<i>Dont bâtiments à construire</i>	<i>2 633 MWh</i>
Fourniture de l'Appoint PAC	43 250 MWh
Fourniture de l'Appoint Gaz	19 114 MWh
Taux de Couverture moyen	69,4 %
Puissance des PAC	8 000 kW
<u>Performances Environnementales</u>	
CO ₂ évités (comparé au gaz)	2 700 tonnes
TEP évitées (comparé au gaz)	1 611 TEP
Contenu en CO ₂	106 g(CO ₂)/KWh _{utile}

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

- Perspectives pour optimiser les résultats

Pour optimiser les résultats, des extensions vers le Nord de la Ville peuvent être envisagées. De même, il est possible de densifier le réseau avec le patrimoine communal à proximité (non identifié dans la présente étude).

Il peut également être envisagé une interconnexion avec les réseaux de la CPCU et d'Arcueil-Gentilly.

b) Analyse économique

- Investissements & Aides

<u>Estimation des Investissements Sous-sol</u>	
Forage pour un doublet	6 200 000 €
Centrale Géothermale (bâtiments et équipements inclus)	3 200 000€
Etudes & Assurances	525 000 €
<u>Total Investissement Sous-sol</u>	9 925 000 €
<u>Estimation des Investissement Surface</u>	
Chaufferies d'appoint et Sous-stations	3 307 000 €
Equipement des Pompes à Chaleur	3 582 000 €
Création du réseau de distribution	6 800 000 €
Etudes	1 351 120 €
<u>Total Investissement Surface</u>	15 040 120 €
<u>Total Investissements</u>	24 965 120 €
<u>Estimation des Aides du Fonds Chaleur</u>	
Estimation des aides Sous-sol	2 416 388 €
Estimation des aides Surface	1 800 000 €
<u>Total Investissements avec Aides</u>	20 748 732 €

Figure 97 : Estimations des investissements et des aides allouées pour la création d'un réseau à base géothermique (Valeur Août 2013)

- *Compte d'exploitation prévisionnel*

<u>Bilan Comptable Annuel Prévisionnel (Sous-sol & Surface)</u>	
P1 : Energies	1 583 476 €
P2 : Entretien / Conduite	388 113 €
P3 : Gros Entretien / Renouvellement	281 157 €
Autres Charges (y compris amortissements)	394 145 €
Total Annuel	2 646 891 €

Figure 98 : Estimation du bilan comptable annuel pour le concessionnaire du réseau (Valeur Août 2013)

Avec environ 2,6 M€ HT de charges annuelles, pour un obtenir un TRI de 8%, le délégataire devrait fixer un coût moyen de la chaleur à 70,6 €HT/MWh utile.

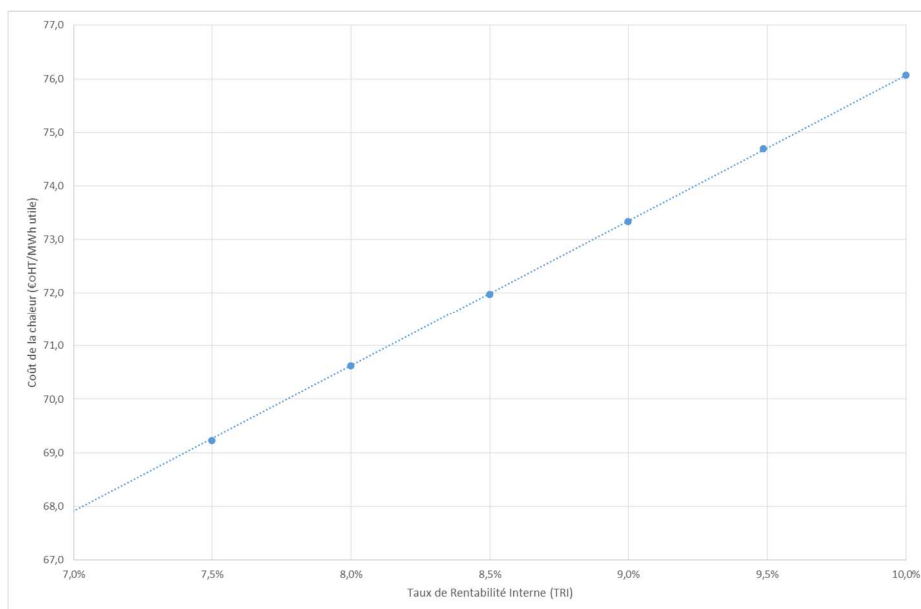


Figure 99 : Evolution du Coût du MWh utile en fonction du TRI voulu par le concessionnaire

3. Bry-sur-Marne/Villiers-sur-Marne

a) Description technique de l'opération

▪ Périmètre retenu

Le périmètre retenu pour ce groupement de communes est constitué du quartier des Portes de Villiers pour la commune de Villiers-sur-Marne ainsi que les Coteaux pour la commune de Bry-sur-Marne. Les nouvelles constructions en remplacement des locaux de l'INA et le SFP ont également été intégrées.

Il a été pris en compte pour la restructuration de ces parcelles les surfaces suivantes :

- Bureaux : 175 400 m²
- Activités : 52 400 m²
- Commerces : 6 000 m²

▪ Patrimoine Social Raccordable

Ce groupement de communes possède la moitié de ces logements sociaux raccordables avec Paris Habitat, le reste a été identifié sur des copropriétés adjacentes.

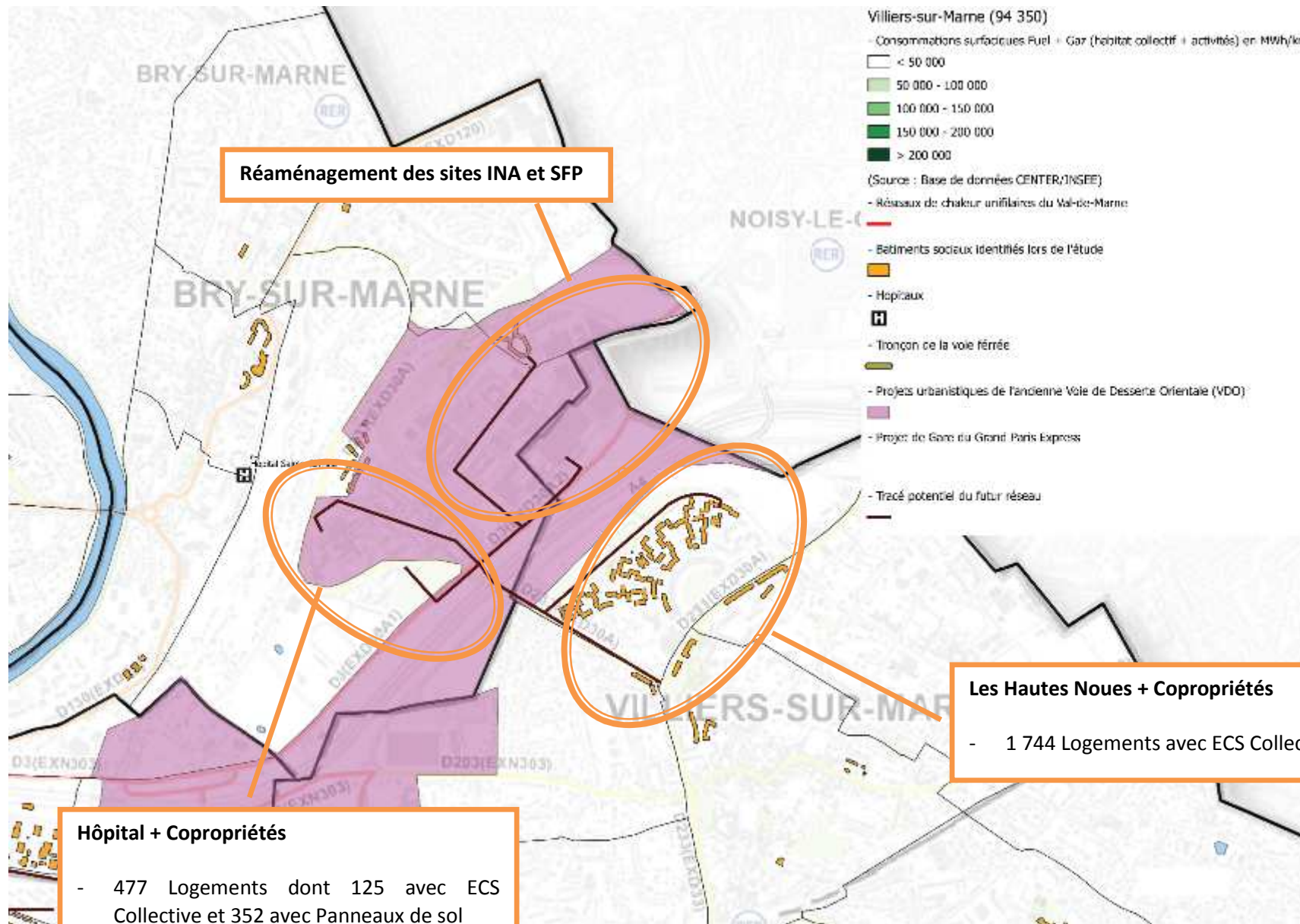
<i>Bailleur</i>	<i>Nombre de Logements Chauffés au Gaz Collectif</i>	<i>dont ECS Collective</i>	<i>dont panneaux de sol</i>
<i>Paris Habitat</i>	<i>1 267</i>	<i>1 267</i>	<i>-</i>
<i>Copropriétés Bry-sur-Marne</i>	<i>477</i>	<i>125</i>	<i>352</i>
<i>Copropriétés Villiers-sur-Marne</i>	<i>450</i>	<i>450</i>	<i>-</i>
TOTAL	2 194	1 842	352

Figure 100 : Patrimoine social potentiellement raccordable dans le périmètre d'étude des communes de Bry-sur-Marne et Villiers-sur-Marne

▪ Patrimoine Communal et Départemental

Le patrimoine communal sur ce périmètre n'est pas connu. Il peut toutefois être cité l'hôpital Sainte-Camille (270 lits) comme étant potentiellement raccordable.

▪ Carte



▪ Résultats Energétiques et Environnementaux

<u>Données Sous-sol</u>	
Aquifère	Dogger
Débit Géothermal	300 m ³ /h
Température d'exhaure	64 °C
<u>Données Surface</u>	
Nombre de logements	2 194
Nombre d'ECS	1 842
Proportion de Radiateurs	84 %
Longueur de réseau à créer	9 000 m
Nombre de Sous-stations	65

Figure 101 : Données retenues pour l'étude technico-économique

<u>Performances Energétiques</u>	
Production Totale de Chaleur	55 870 MWh
Besoins des Abonnés (CAF + ECS)	53 209 MWh
<i>Dont bâtiments à construire</i>	<i>13 573 MWh</i>
Fourniture Géothermique	35 781 MWh
Fourniture de l'Appoint Gaz	20 089 MWh
Taux de Couverture moyen	64 %
<u>Performances Environnementales</u>	
CO ₂ évités (comparé au gaz)	9 100 tonnes
TEP évitées (comparé au gaz)	3 9077 TEP
Contenu en CO ₂	86 g(CO ₂)/KWh _{utile}

Figure 102 : Estimation des performances énergétiques et environnementales pour le réseau géothermique

- Perspectives pour optimiser les résultats

b) Analyse économique

- Investissements & Aides

<u>Estimation des Investissements Sous-sol</u>	
Forage pour un doublet	11 200 000 €
Centrale Géothermale (bâtiments et équipements inclus)	3 200 000 €
Etudes & Assurances	1 050 000 €
<u>Total Investissement Sous-sol</u>	15 450 000 €
<u>Estimation des Investissement Surface</u>	
Chaufferies d'appoint et Sous-stations	2 971 000 €
Création du réseau de distribution	10 700 000 €
Etudes	1 361 600 €
<u>Total Investissement Surface</u>	15 181 600 €
<u>Total Investissements</u>	30 631 600 €
<u>Estimation des Aides du Fonds Chaleur</u>	
Estimation des aides Sous-sol	3 076 591 €
Estimation des aides Surface	3 600 000 €
<u>Total Investissements avec Aides</u>	23 873 845 €

Figure 103 : Estimations des investissements et des aides allouées pour la création d'un réseau à base géothermique (Valeur Août 2013)

▪ Compte d'exploitation prévisionnel

<u>Bilan Comptable Annuel Prévisionnel (Sous-sol & Surface)</u>	
P1 : Energies	1 14 152 €
P2 : Entretien / Conduite	326 233 €
P3 : Gros Entretien / Renouvellement	222 000 €
Autres Charges (y compris amortissements)	413 710 €
Total Annuel	2 076 095 €

Figure 104 : Estimation du bilan comptable annuel pour le concessionnaire du réseau (Valeur Août 2013)

Avec environ 2 M€ HT de charges annuelles, pour un obtenir un TRI de 8%, le délégataire devrait fixer un coût moyen de la chaleur à 74,6 €HT/MWh utile.

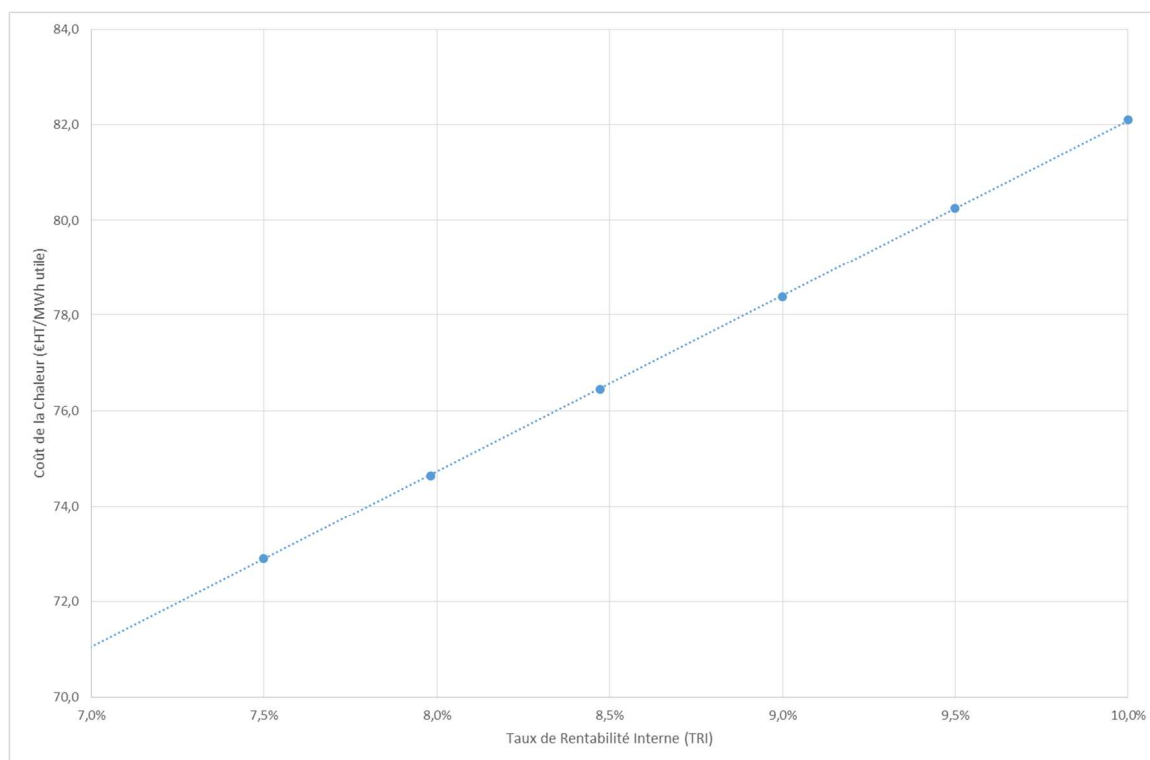


Figure 105 : Evolution du Coût du MWh utile en fonction du TRI voulu par le concessionnaire

4. Communauté de Communes de Charenton-le-Pont et Saint-Maurice

a) Description technique de l'opération

Le groupement Charenton-le-Pont/Saint-Maurice a été mis en évidence grâce aux Hôpitaux présents à Saint-Maurice complétés de l'Habitat social de Charenton-le-Pont. Ces deux communes n'auraient pu, à elles-seules, bénéficier d'une opération de géothermie profonde, soit par manque de surface foncière, soit par manque de besoins en surface.

▪ Périmètre retenu

Le périmètre retenu pour la réunion des communes d'une même communauté d'agglomération est la ville de Charenton-le-Pont sur les zones avec un nombre intéressant de logements sociaux raccordables (Valmy, Bercy, Archevêché, Conflans, Bordeaux/V. Hugo, Centre-Ville et Carrières) ainsi que la partie ouest de Saint-Maurice (quartiers du Plateau et du Pont) avec le groupe des hôpitaux de Saint-Maurice.

▪ Patrimoine Social Raccordable

Sur le périmètre de la communauté d'agglomération de Charenton-le-Pont et Saint-Maurice, on dénombre près de 1 650 logements dont le tiers est géré par le Groupe Valophis. De plus, 40% de ces logements ont de même un système d'ECS collective au gaz.

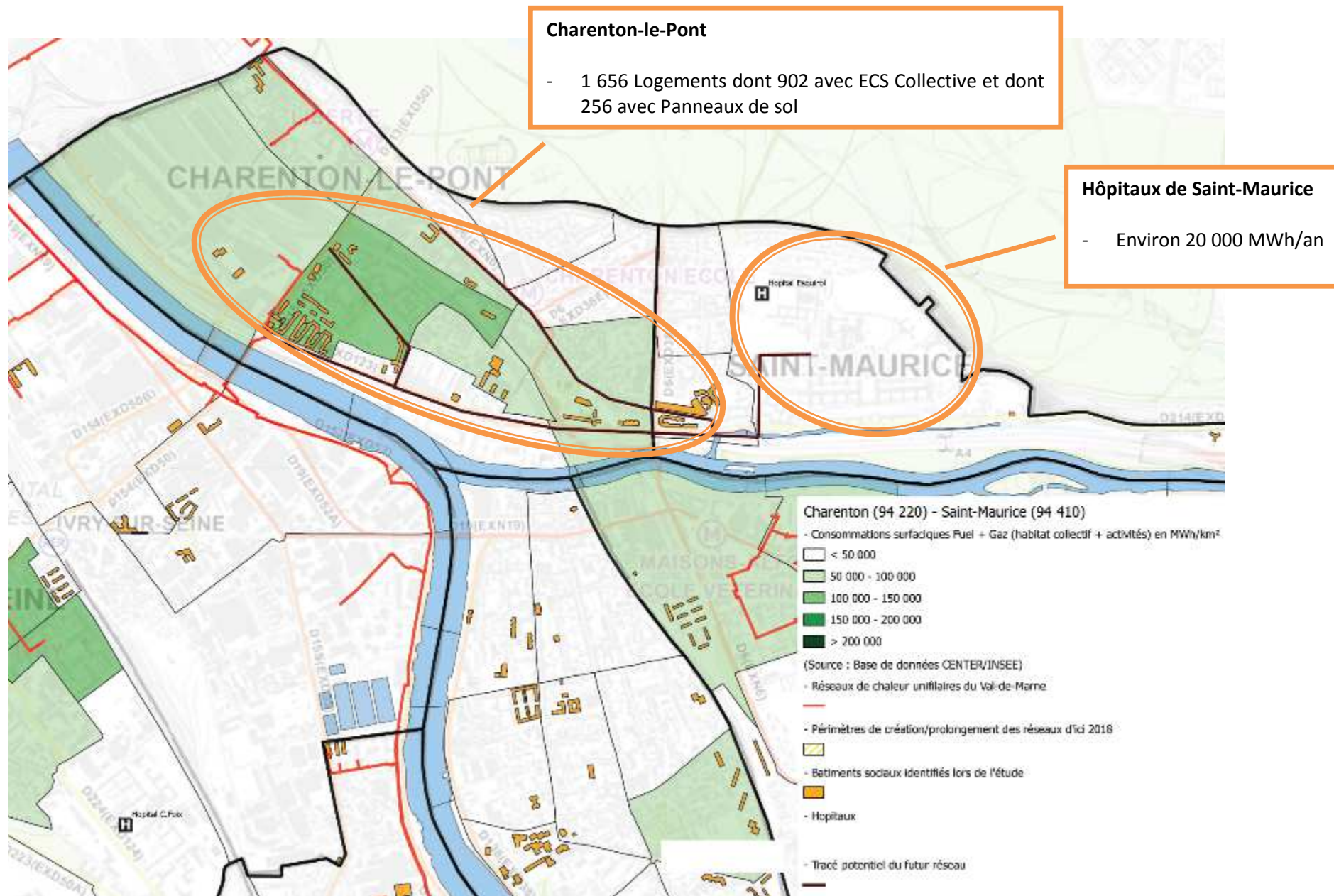
<i>Bailleur</i>	<i>Nombre de Logements Chauffés au Gaz Collectif</i>	<i>dont ECS Collective</i>	<i>dont panneaux de sol</i>
<i>OPH du Val-de-Marne (Groupe Valophis)</i>	672	74	-
<i>Immobilière 3F</i>	513	513	256
<i>Emmaüs Habitat</i>	281	281	-
<i>ICF La Sablière</i>	156	-	-
<i>Paris Habitat</i>	34	34	-
TOTAL	1 656	902	256

Figure 106 : Patrimoine social potentiellement raccordable dans le périmètre d'étude du groupement Charenton-le-Pont/Saint-Maurice

▪ Patrimoine Communal et Départemental

Sur le périmètre retenu, la ville de Charenton-le-Pont dispose d'un collège ainsi qu'un centre PMI. Sur la commune de Saint-Maurice, on a le groupe des hôpitaux de Saint-Maurice (environ 1 000 lits) comprenant l'hôpital Esquirol.

▪ Carte



▪ *Résultats Energétiques et Environnementaux*

<u>Données Sous-sol</u>	
Aquifère	Albien
Débit Géothermal (m ³ /h)	200 m ³ /h
Température d'exhaure	37 °C
<u>Données Surface</u>	
Nombre de logements	1 656
Nombre d'ECS	902
Proportion de Radiateurs	85 %
Longueur de réseau à créer	4 500 m
Nombre de Sous-stations	35

Figure 107 : Données retenues pour l'étude technico-économique

<u>Performances Energétiques</u>	
Production Totale de Chaleur	37 983 MWh
Besoins des Abonnés (CAF + ECS)	36 174 MWh
Fourniture de l'Appoint PAC	31 100 MWh
Fourniture de l'Appoint Gaz	6 882 MWh
Taux de Couverture moyen	81,9 %
Puissance de la PAC	7 000 kW
<u>Performances Environnementales</u>	
CO ₂ évités (comparé au gaz)	1 400 tonnes
TEP évitées (comparé au gaz)	2 293 TEP
Contenu en CO ₂	71 g(CO ₂)/KWh _{utile}

Figure 108 : Estimation des performances énergétiques et environnementales pour le réseau géothermique

- Perspectives pour optimiser les résultats

Les résultats peuvent être optimisés par de la densification de réseau auprès d’habitat privé et avec le patrimoine communal des deux villes.

Il peut également être envisagé, suivant compatibilité, le développement vers les nombreux établissements tertiaires présents sur le territoire des 2 communes.

b) Analyse économique

- Investissements & Aides

<u>Estimation des Investissements Sous-sol</u>	
Forage pour un doublet	5 200 000 €
Centrale Géothermale (bâtiments et équipements)	3 200 000€
Etudes & Assurances	420 000 €
<u>Total Investissement Sous-sol</u>	8 820 000 €
<u>Estimation des Investissement Surface</u>	
Chaufferies d'appoint et Sous-stations	2 202 000 €
Equipement des Pompes à Chaleur	3 158 000 €
Création du réseau de distribution	5 450 000 €
Etudes	1 120 800 €
<u>Total Investissement Surface</u>	11 930 800 €
<u>Total Investissements</u>	20 750 800 €
<u>Estimation des aides du Fonds Chaleur</u>	
Estimation des aides Sous-sol	2 293 180 €
Estimation des aides Surface	1 800 000 €
<u>Total Investissements avec Aides</u>	16 657 620 €

Figure 109 : Estimations des investissements et des aides allouées pour la création d'un réseau de chaleur à base géothermique (Valeur Août 2013)

▪ Compte d'exploitation prévisionnel

<u>Bilan Comptable Annuel Prévisionnel (Sous-sol & Surface)</u>	
P1 : Energies	752 402 €HT
P2 : Entretien / Conduite	354 258 €HT
P3 : Gros Entretien / Renouvellement	251 589 €HT
Autres Charges (y compris amortissements)	309 217 €HT
Total Annuel	1 667 466 €HT

Figure 110 : Estimation du bilan comptable annuel pour le concessionnaire du réseau (Valeur Août 2013)

Avec environ 1,6 M€ HT de charges annuelles, pour un obtenir un TRI de 8%, le délégataire devrait fixer un coût moyen de la chaleur à 78,6 €HT/MWh utile.

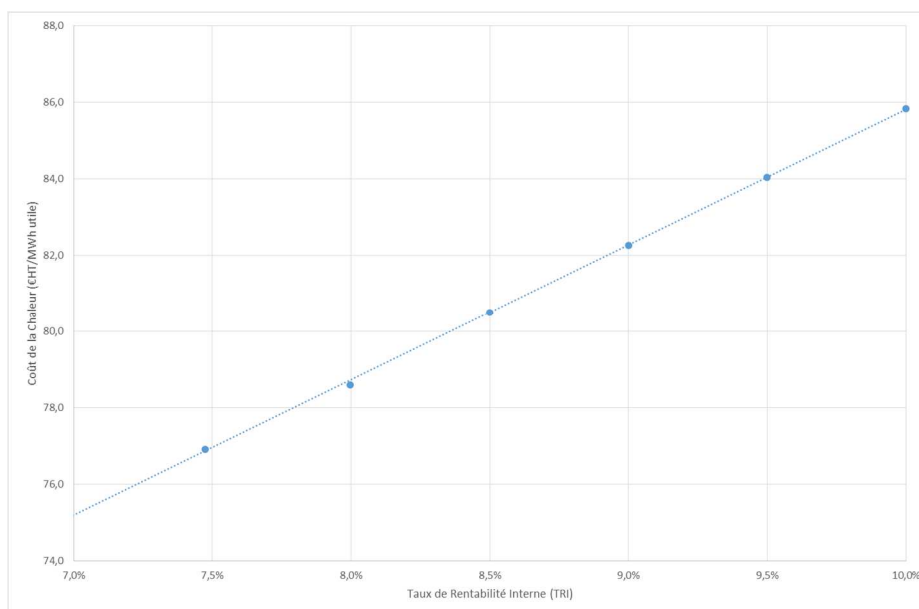


Figure 111 : Evolution du Coût du MWh utile en fonction du TRI voulu par le concessionnaire

C. Synthèse des potentialités pour le Val-de-Marne

(Valeur Août 2013)	Kremlin-Bicêtre	Champigny-sur-Marne	Charenton-le-Pont / Saint-Maurice	Bry-sur-Marne / Villiers-sur-Marne
Aquifère	Albien	Dogger	Albien	Dogger
Longueur de réseau (m)	4 500	13 500	4 500	9 000
Nombre d'équivalent-logement	5 330	5 180	3 250	4 780
Température d'exhaure	32	70	37	64
Débit géothermal (m ³ /h)	175	300	200	300
Production Totale (MWh)	62 364	60 633	37 983	55 870
Fourniture Géothermique ou PAC pour l'Albien (MWh)	43 250	44 808	31 100	35 781
Fourniture Appoint Gaz (MWh)	19 114	15 825	6 882	20 089
Taux de couverture	69,4%	73,9%	81,9%	64,0%
Contenu en CO ₂ (gCO ₂ /kWh Utile)	0,106	0,062	0,071	0,086
Investissements (€HT)				
<i>Forages et centrale géothermale</i>	9 575 000	14 750 000	8 540 000	14 750 000
<i>Chaufferies d'appoint-secours</i>	6 889 000	3 290 000	5 360 000	3 120 000
Réseau de distribution	6 800 000	16 650 000	5 450 000	10 700 000
Maitrise d'œuvre	1 701 120	2 551 200	1 400 800	2 061 600
Total	24 965 120	37 241 200	20 750 800	30 631 600
<i>Aides Possibles du Fonds Chaleur</i>	4 216 388	8 172 788	4 093 180	6 676 591
Investissements Total avec Aides	20 748 732	29 068 412	16 657 620	23 955 009

Figure 112 : Synthèse générale des principaux paramètres des potentiels réseaux géothermiques du groupe 1

En synthèse, la création des 4 opérations du Groupe 1 permettaient de raccorder environ 18 500 équivalent-logements (donnée SCRAE) supplémentaires sur le département du Val-de-Marne, soit une augmentation de 11,5 %.

Cela permettrait de valoriser environ 80 500 MWh supplémentaire au Dogger et 74 000 MWh à l'Albien par la création de 2 puits.

Au niveau économique, un investissement total d'environ 113 millions d'euros HT pour les 4 projets serait nécessaire pour ces réseaux. Les subventions, dans le contexte, seraient de 23,1 millions, soit 20,3 % de l'investissement total.

SCHEMA DIRECTEUR

1. Enjeux et perspectives d'exploitation de la géothermie profonde

Le département du Val-de-Marne présente une situation exceptionnelle en France par sa densité d'exploitations géothermiques au Dogger. Cette particularité est liée à la conjonction de trois facteurs : de bonnes caractéristiques hydrogéologiques de la ressource, une urbanisation dense, et une volonté politique qui a accompagné le développement de ces opérations.

A l'heure où les politiques cherchent à diminuer les émissions de gaz à effet de serre, le développement de nouveaux doublets est à l'étude. La question de la pérennité de la ressource se pose alors. Quel est l'avenir de l'exploitation géothermique des aquifères profonds dans le département ? Les paragraphes suivants proposent quelques pistes de réflexion.

A. Nécessité d'une compréhension fine du comportement du réservoir du Dogger

La durée de vie d'un doublet est limitée à la date à partir de laquelle le fluide au puits de production atteint une température trop basse pour que son exploitation soit rentable.

Comme vu au paragraphe 1.B.6, les premiers modèles numériques réalisés dans les années 1980, basés sur des hypothèses pénalisantes, prédisaient une durée de vie moyenne des doublets au Dogger de l'ordre de 15 à 20 ans. La majorité des doublets réalisés à cette époque a maintenant été exploitée pendant plus de 20 ans, et seul l'un d'entre eux présente une diminution de la température observée au puits de production : le doublet d'Alfortville.

Bien que la durée de vie réelle des exploitations soit plus longue que les estimations de l'époque, les incertitudes perdurent sur la date de la percée thermique et la cinétique de décroissance de la température à l'avenir, et ce à deux échelles : celle de chaque doublet, et celle du département, voire de la région parisienne. En effet, les interactions thermiques entre forages peuvent se produire au sein d'un unique doublet ou entre plusieurs doublets, s'ils sont proches.

Or depuis le début de l'exploitation géothermique du Dogger, la ressource avait été exploitée sans mise en place de système de gestion optimisée.

1. Modélisation du réservoir à l'échelle régionale

En 2007, l'ADEME, le BRGM et le Conseil Régional ont donc lancé un projet à long terme sur la gestion de l'aquifère du Dogger. Depuis 2009, un modèle régional de la ressource géothermale est développé afin :

- d'améliorer la compréhension de l'extension des bulles froides et d'optimiser les opérations de réhabilitation des doublets,
- d'être capable de prédire l'évolution de la température de production sur les puits existants.

Il constitue donc un outil d'aide à la décision essentiel dans le cadre des études de faisabilité de nouveaux projets de géothermie au Dogger.

Ce modèle reprend les données rassemblées dans la « Base Dogger », dont le développement était intégré au projet « Gestion de la ressource géothermique du Dogger de la région Ile-de-France », décomposé en 3 phases :

- Phase 1 - 2001-2002 : Conception générale et construction de la base de données dite Base DOGGER
- Phase 2 - 2002-2005 : Intégration des données disponibles et conception d'une méthode d'interprétation.
- Phase 3 - 2005-2012 : Mise en place d'un observatoire du réservoir du Dogger

La base des données géothermique du Dogger a été développée entre 2001 et 2005 à l'initiative de l'ADEME et du BRGM en vue de mettre en place un outil de gestion de l'aquifère du Dogger. L'interface de gestion de la base développée initialement sous Access, a été complétée depuis avec des routines d'intégration des données d'exploitation de la boucle géothermale (débits, températures, pressions) et des données physico-chimiques (mesures in situ, analyses du fluide géothermal). Seul le BRGM, qui gère cette base dans le cadre d'une Convention annuelle avec l'ADEME, avait accès à l'ensemble des données. Depuis juillet 2013, cette base de données est accessible via une interface Web aux principaux acteurs des opérations de géothermie profonde (bureaux d'étude en charge du suivi de réalisation des forages géothermiques, Maîtres d'Ouvrage propriétaires des données, mais aussi tout bureau d'étude amené à réaliser des études de faisabilité avec modélisation des impacts lors de la réalisation d'une nouvelle opération au Dogger).

Les principales problématiques traitées par la modélisation hydraulique et thermique au Dogger sont la gestion du stock d'énergie sur le long terme à l'échelle de l'ensemble du réservoir (refroidissement du réservoir) et l'utilisation du stock de chaleur à l'échelle des opérations de géothermie elles-mêmes (temps de percée thermique au puits de production).

A l'échelle du Val-de-Marne, le BRGM mène actuellement une étude plus poussée intitulée « Expertise du développement de l'exploitation de l'aquifère du Dogger dans le secteur Ouest du Val-de-Marne », ayant pour objectifs :

- d'apporter un avis technique sur les nouveaux schémas d'implantation de doublets ou triplets au Dogger issus des études préliminaires de faisabilité réalisées par les bureaux d'étude sous-sol dans le secteur Ouest du Val-de-Marne déjà densément exploité,
- de modéliser l'état futur de la ressource (horizon 2045) en termes d'impacts hydrauliques et thermiques des nouvelles opérations au Dogger ou réhabilitations.

A la date de rédaction de ce rapport, cette étude est en suspens en raison de l'incertitude sur les conditions d'exploitation de la commune de Cachan. Les documents mis à disposition par le BRGM sont donc des documents de travail non définitifs élaborés à partir des connaissances 2012.

Le secteur modélisé est un périmètre rectangulaire de l'ordre de 17 km de large et 12 km de haut à l'ouest du Val-de-Marne (cf. Figure 113). Il inclut toutes les exploitations actuelles à l'exception des triplets de Sucy-en-Brie et de Champigny-sur-Marne. Les hypothèses des scénarios pris en compte dans cette étude et les résultats sont synthétisés sur les figures suivantes.

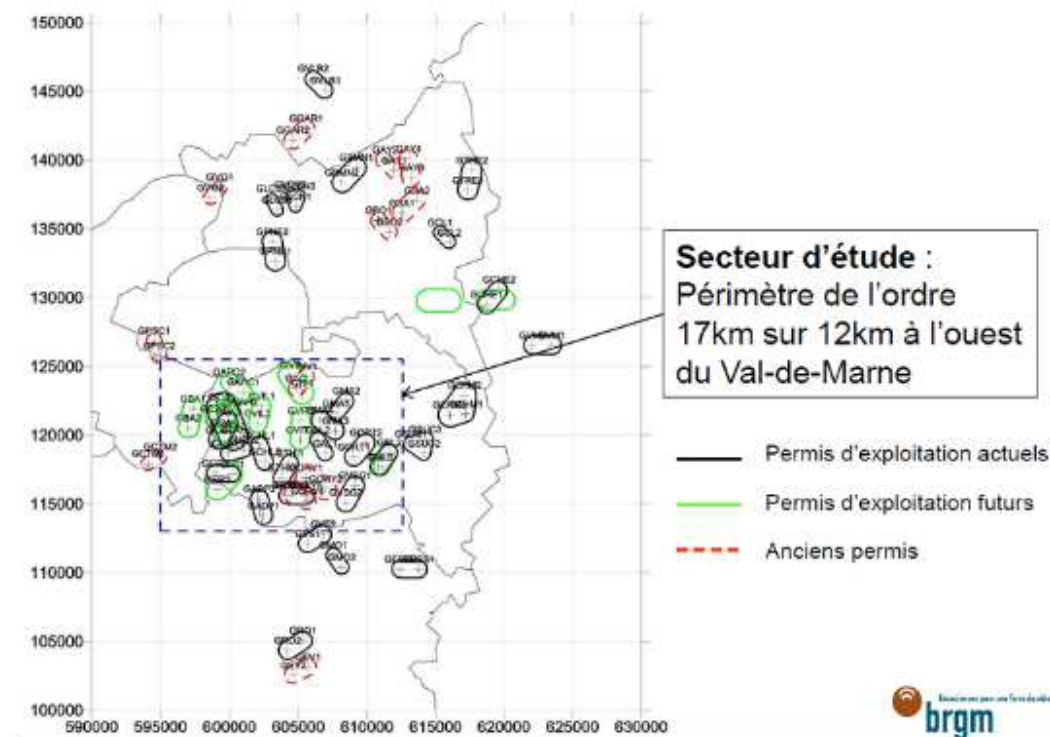


Figure 113 : Carte de localisation du secteur d'étude (source : Hamm, 2012)

Site exploités en 2012 ou prévus (>2012)	Débit moyen mensuel en m3/h (2010-2012)	Débit maxi mensuel en m3/h (2010-2012)	Température réinjection moyenne mensuelle en °C (2010-2012)	Température réinjection mensuelle minimale en °C (2010-2012)	Débit moyen prévisionnel en m3/h	Débit maxi prévisionnel en m3/h	Température réinjection moyenne annuelle prévisionnelle en °C	Température réinjection minimale prévisionnelle en °C	Commentaire
Afforville	213	280	49.8	39	213	280	49.8	39	rechemisage futur
Arcueil-Gentilly					220	300	38	25	nouveau doublet en 2013 - démarrage prévu mi-2014
Bagneux					185	280	29	27	nouveau doublet en 2013-2014, démarrage prévu début 2014
Bonneuil-sur-Mame	95	105	47.5	38					
Bonneuil-sur-Mame (triolet)					180	250	45	35	nouveau puits producteur fin 2012. Fonctionnement avec 2 producteurs
Cachan 1	149	169	49.2	40	62/0	100/0	43.5	39	abandon du producteur en 2020
Cachan 2	135	180	44.6	40	62/0	100/0	43.5	39	abandon du producteur en 2020
Cachan 3 scénario1					214/179	350/300	43.5	39	doublet sub-horizontale + triplet
Cachan 3 scénario 2					155/150	250/250	43.6	39	doublet classique + triplet
Cachan 3 triplet					119/150	200/250	43.6	39	producteur fonctionnant avec les 2 anciens injecteurs de Cachan 1 et 2
Chevilly-Larue	176	284	47.9	35	176	284	47.9	35	rechemisage prévu entre 2013-2015
Créteil	207	278	52.3	42	207	278	40	25	fonctionnement avec PAC en 2013
Fresnes	185	244	54.4	41					transformations de l'ancien producteur en injecteur à partir de 2013
Fresnes triplet					250	300	41	35	nouveau puits producteur en 2013 - démarrage triplet mi 2013
Ivry-sur-Seine					205/243.5	300	40/37.4	33	2 scénarios d'exploitation possibles (réseau de chaleur Ivry Confluences ou Ivry Confluences + EnergIvry)
L'Hay-Les-Roses	156	283	42.6	35	156	283	42.6	35	rechemisage prévu entre 2013-2015
Maisons Affort 1	232	298	56	50	232	298	56	50	rechemisage en 2012-2013
Maisons Affort 2	140	204	61.4	50	192	280	61.4	50	rechemisage en 2012-2013 - augmentation du débit d'exploitation
Orly ADP	186	269	59.7	52	186	269	59.7	52	
Orly Le Nouvellet 2	261	340	54	43	261	340	54	43	
Thiais	164	250	53	39	164	250	53	39	agrandissement chambre de pompage en août 2012
Villejuif					250	300	42.8/36.2	25	nouveau doublet en 2014 - démarrage prévu fin 2014
Villeneuve St Georges	157	224	54.7	47	157	224	54.7	47	
Vitry-sur-Seine					176	339	37.6	35	nouveau doublet en 2014 - démarrage prévu mi 2015



Tableau 9 : Scénarios d'exploitation des installations géothermiques pris en compte dans le modèle (source : Hamm, 2012)

Doublet	Puits (producteurs)	Date de percée thermique	Décroissance thermique en 2045			
			Minimum (°C)	Scénario*	Maximum (°C)	Scénario
Alfortville	GAL2	<2012	-6.2	Doublets actuels Qmoy	-12	Scé 2 + base Ivry Qmax
Arcueil-Gentilly	GARC1	2022	-0.8	Scé 1 + var Ivry Qmoy	-3.5	Scé 2 + base Ivry Qmax
Bagneux	GBA1	2029	-0.15	Scé 2 + var Ivry Qmoy	-1.45	Scé 2 + base Ivry Qmax
Bonneuil-sur-Marne	GBL1	2014	-1	Doublets actuels Qmoy	-4.8	Scé 2 + base Ivry Qmax
Bonneuil-sur-Marne	GBL3	2013	-1.4	Doublets actuels Qmoy	-11.4	Scé 2 + base Ivry Qmax
Cachan	GCA3	<2012	-1.5	Scé 2 + var Ivry Qmoy	-7.5	Doublets actuels Qmax
Cachan	GCA4	<2012	+ 1	Scé 2 + var Ivry Qmoy	-4	Doublets actuels Qmax
Cachan	GCA5	<2012	-0.9	Scé 1 + var Ivry Qmoy	-9.2	Doublets actuels Qmax
Cachan	GCA7	2020	-0.5	Doublets actuels Qmoy	-6.3	Scé 2 + base Ivry Qmax
Chevilly-Larue	GCHL2	<2012	-2.8	Scé 1 + base Ivry Qmoy	-6.3	Scé 2 + base Ivry Qmax
Créteil	GCRT1	<2012	-1.6	Doublets actuels Qmoy	-4.2	Scé 2 + base Ivry Qmax
Fresnes	GFR2	<2012	-3	Doublets actuels Qmoy	-39	Scé 2 + base Ivry Qmax
Fresnes	GFR3	2020	-0.1	Doublets actuels Qmoy	-4.4	Scé 2 + base Ivry Qmax
L'Hay-les-Roses	GHLR2	<2012	-3.9	Doublets actuels Qmoy	-11.5	Scé 1 + base Ivry Qmax
Ivry-sur-Seine	GIV4	2014	-0.1	Doublets actuels Qmoy	-2.1	Scé 1 + base Ivry Qmax
Maisons-Alfort 1	GMA1	<2012	-4.5	Doublets actuels Qmoy	-7	Scé 2 + base Ivry Qmax
Maisons-Alfort 2	GMA3	2015	+0.2	Doublets actuels Qmoy	-1.1	Scé 1 + base Ivry Qmax
ADP	ADP1	2020	-0.8	Scé 2 + var Ivry Qmoy	-3	Doublets actuels Qmax
Orly Le Nouvellet2	GORY6	<2012	-4.2	Scé 2 + var Ivry Qmoy	-8.2	Doublets actuels Qmax
Thiais	GTHI1	<2012	-1.2	Scé 2 + var Ivry Qmoy	-4.6	Doublets actuels Qmax
Villejuif	GVIL2	2015	-0.1	Scé 2 + var Ivry Qmoy	-5.9	Scé 1 + base Ivry Qmax
Villeneuve St Georges	GVSG1	<2012	-2.6	Doublets actuels Qmoy	-4.8	Doublets actuels Qmax
Vitry-sur-Seine	GVIT1	2016	-0.1	Doublets actuels Qmoy	-7.5	Scé 1 + base Ivry Qmax

*Rappel des différents scénarios :

Scénarios pour Cachan 3 (doublet) :

- Scénario 1 : Q moyen = 214/179 m³/h, Qmax = 350/300 m³/h
- Scénario 2 : Q moyen = 155/150 m³/h, Qmax = 250/250 m³/h

Scénarios pour Ivry-sur-Seine :

- Scénario de base : Qmoy = 205 m³/h, T° inj = 40°C (Réseau de chaleur Ivry Confluence),
- Variante : Qmoy = 243.5 m³/h, T° inj = 37,4°C (Réseau de chaleur Ivry Confluence + Energivry),

Tableau 10 : Synthèse des résultats obtenus par l'étude du BRGM en termes de décroissance thermique observée sur les puits producteurs à l'horizon 2045 (mise en forme Antea)

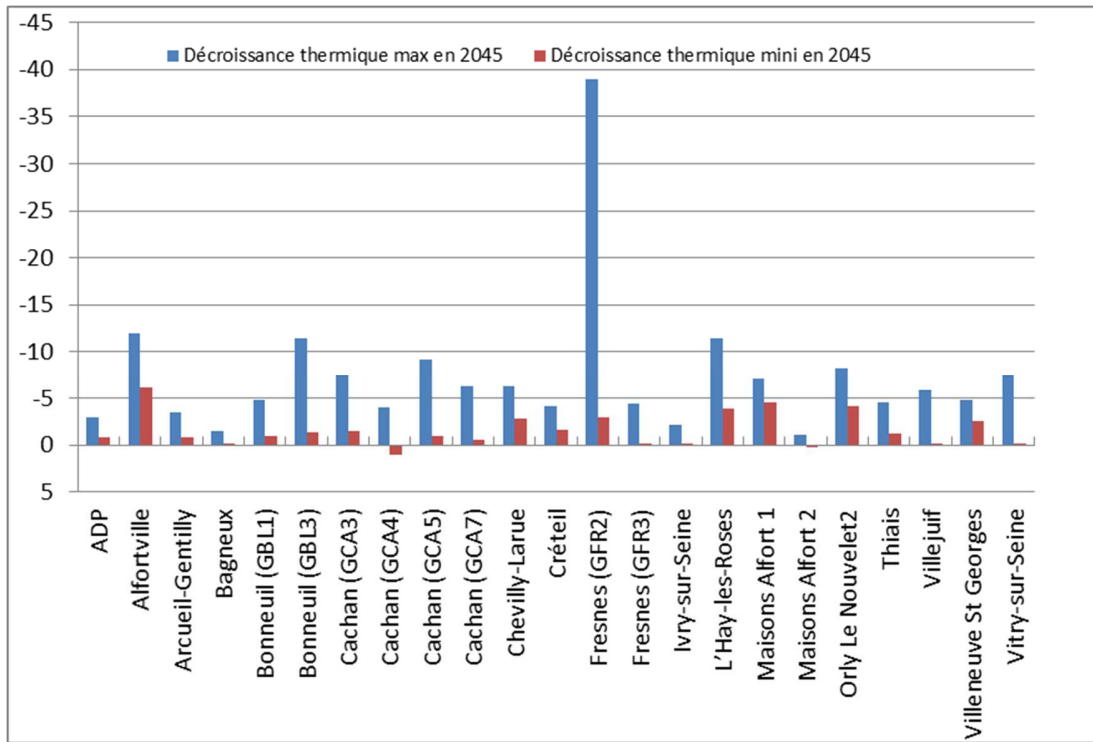


Figure 116 : Décroissances thermiques minimum et maximum simulées par l'étude BRGM (mise en forme Antea)

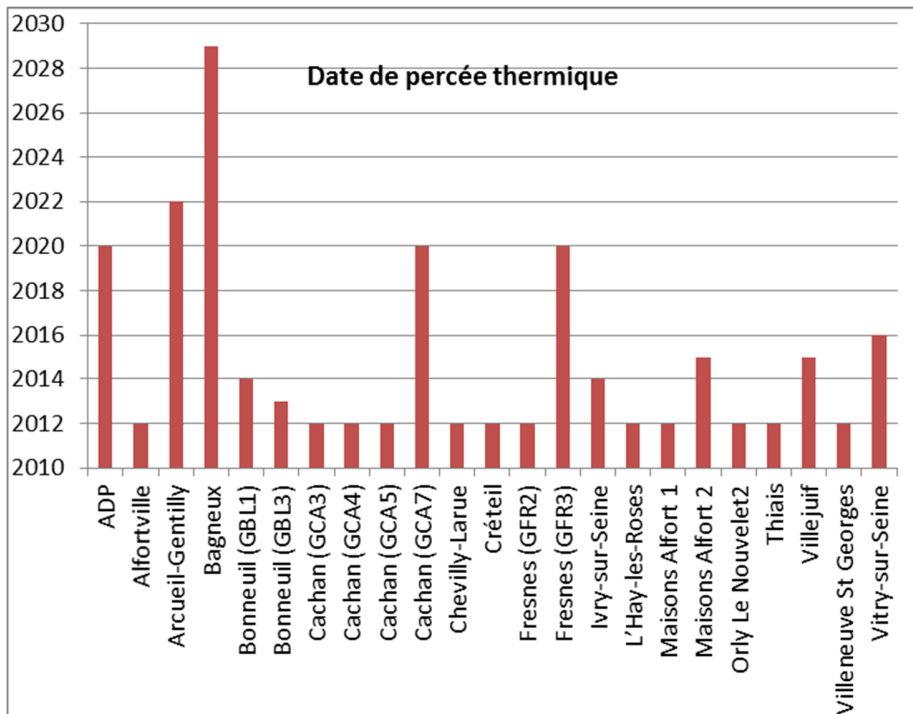


Figure 117 : Dates de percée thermique simulées par l'étude BRGM (mise en forme Antea)

A la date de rédaction de ce document, les conclusions du BRGM sur les modélisations réalisées sont les suivantes :

- les impacts hydrauliques simulés sont supérieurs à 1 bar aux puits sur les exploitations d'Alfortville, Créteil, Chevilly-Larue, l'Hay-Les-Roses, Thiais, Orly ADP, Orly Nouvelet à l'horizon 2025 ;
- les impacts peuvent être positifs ou négatifs en terme de gradient de pression entre puits au sein d'un doublet à l'horizon 2025 ;
- les impacts thermiques simulés sur les exploitations d'Alfortville, Bonneuil-sur-Marne, Créteil, l'Hay-Les-Roses, Maisons Alfort, Thiais, Orly2, Villeneuve-St-Georges et Chevilly-Larue sont non négligeables ;
- la cinétique de refroidissement est plus rapide sur certains nouveaux puits notamment au producteur de Bonneuil-sur-Marne.

2. Analyse de sensibilité des modèles de réservoir du Dogger

Compte tenu des enjeux scientifiques et économiques des résultats, les modèles de réservoir ont fait l'objet d'une étude critique par le BRGM.

Ainsi, une analyse de sensibilité des différents paramètres introduits dans les modèles numériques sur l'évaluation du temps de percée au sein d'un doublet a été menée en 2011. Le graphe de la Figure 118 résume les résultats de cette analyse et montre l'impact de ces paramètres sur le temps de percée et l'amplitude de la diminution de la température au puits de production : les paramètres les plus importants sont le débit d'exploitation, la température d'injection, la distance entre les puits et l'épaisseur de l'éponte intermédiaire (couche imperméable située entre les deux couches productives de l'aquifère dans le modèle conceptuel). En conséquence, ces paramètres doivent être introduits dans le modèle de façon aussi précise que possible. Les paramètres les moins influents sont les propriétés thermiques de la roche, la distribution des transmissivités entre les différentes couches productives, ainsi que la structure verticale du modèle conceptuel.

Compte tenu de l'importance des données d'exploitation dans les résultats simulés, une instrumentation précise des puits ainsi qu'un enregistrement rigoureux et complet des données d'exploitation sont indispensables pour parvenir à gérer de façon durable la ressource géothermique.

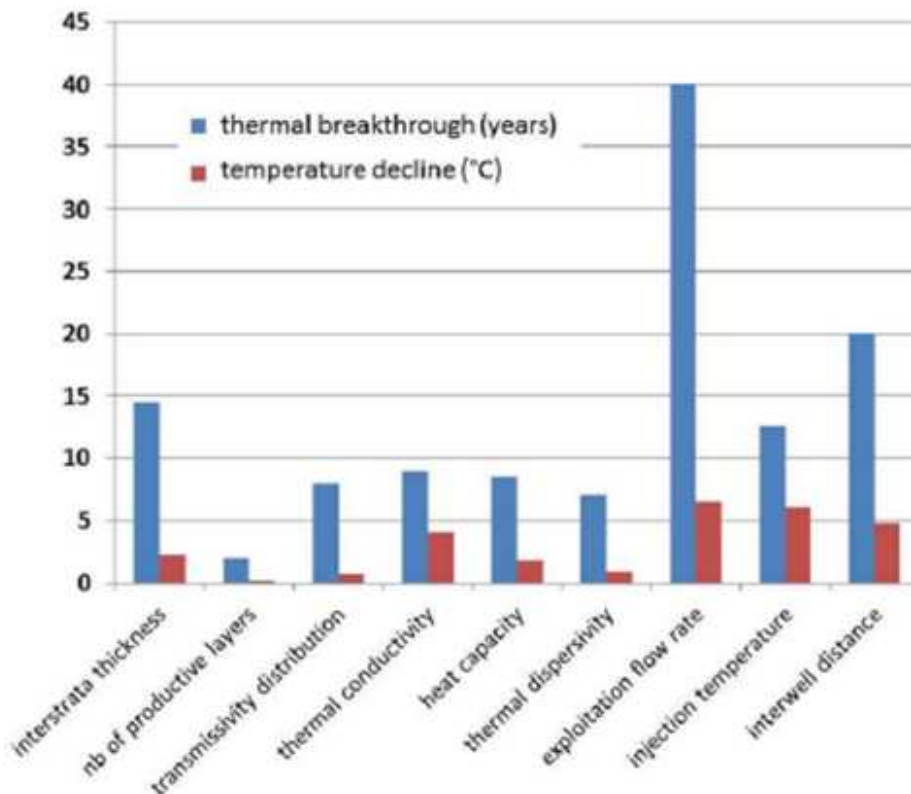
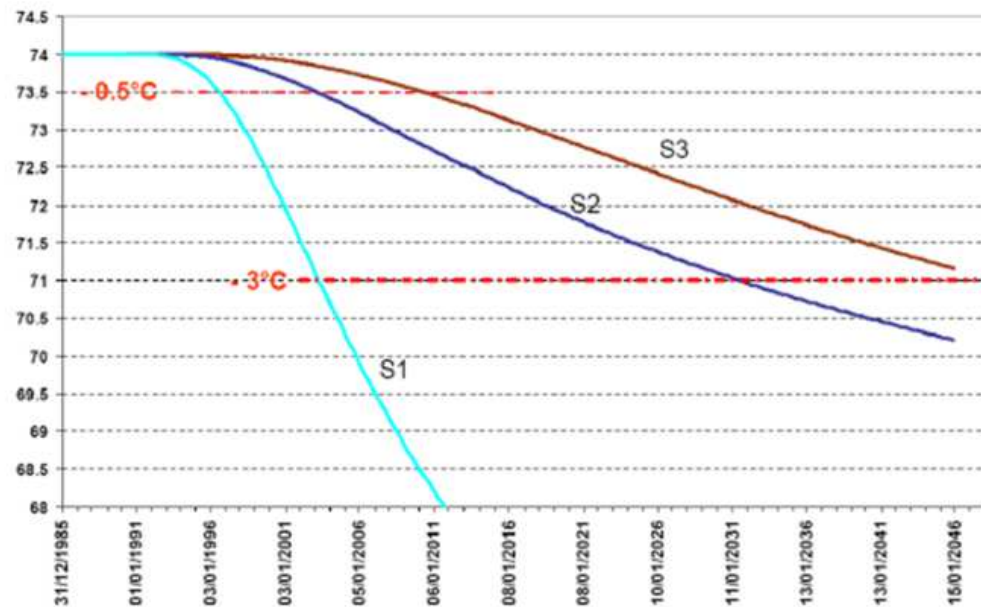


Figure 118 : Impact maximum de neuf paramètres –clé des modèles numériques sur la simulation du temps de percée et de l'amplitude de la diminution au puits de production (source : Hamm et al. 2011)

Le modèle conceptuel de l'aquifère a également une influence importante sur les résultats des simulations, en particulier la discrétisation de l'aquifère du Dogger en plusieurs couches productrices aux propriétés hydrodynamiques différentes. Ainsi, les premières modélisations réalisées dans les années 1980 étaient pessimistes car elles ne considéraient qu'une couche productrice, et négligeaient la présence d'une époune intermédiaire. La Figure 119 illustre les conséquences de cette hypothèse : si l'on considère que la vie d'un doublet est limitée à la date à partir de laquelle la température au puits de production diminue de 3°C, la simulation S1, correspondant à un modèle conceptuel « ancien », prédit une durée de vie de 17 ans, alors que la simulation S3, correspondant au modèle conceptuel actuellement mis en pratique, prédit une durée de vie de l'ordre de 62 ans.



S1 : une seule couche productrice – S2 : une couche productrice entre deux couches imperméables mais conductives – S3 : trois couches productrices avec couches imperméables mais conductives intercalées – La température initiale du réservoir est de 74°C.

Figure 119 : Diminution de la température au puits de production d'un doublet géothermique isolé pour différents modèles conceptuels de l'aquifère du Dogger (source : Lopez et al. 2010)

B. Développement de la filière, innovations technologiques et objectifs d'exploration/exploitation

La poursuite du (re)déploiement de la géothermie dans le Val de Marne, département phare de la filière (16 doublets en activité, 5 en projet, 60% de la capacité installée en Ile de France), s'inscrit dans une perspective de transition énergétique et de développement durable.

Cet objectif implique (i) la mise en œuvre de technologies innovantes, techniquement fiables, économiquement viables et environnementalement sûres, sécurisant (ii) la pérennisation de l'exploitation sur des périodes longues atteignant sinon dépassant cinquante années.

On gardera présent à l'esprit que ces actions interviennent dans des environnements (sub)urbains contraignants, voire socialement sensibles. Elles veilleront à garantir la crédibilité de la filière, charnière de la transition énergétique.

1. Réhabilitation des infrastructures minières

Structurellement consécutive au vieillissement inéluctable des doublets au sens de la durée de vie (i) physique des puits, dans un environnement thermochimiquement hostile, et (ii) thermique, liée à la cinétique de refroidissement de l'ouvrage producteur, elle appelle des stratégies à long terme et des mises en œuvre appropriées. Parmi ces dernières on distinguera (iii) le reconditionnement, assimilable à une remise à neuf, des ouvrages existants, et (iv) le forage/la complétion, sur le même site, d'un nouveau schéma minier, triplet de puits ou doublet nouveau.

a) Restauration des ouvrages existants

La remise à neuf d'un doublet dans le but de lui donner une seconde jeunesse et une espérance de vie égale à celle écoulée, soit *grosso modo* 25 à 30 années, constitue un défi, sinon un pari, audacieux, en passe d'être réussi sur les sites de Maisons-Alfort 1 et 2. Le contexte, aux niveaux des durées de vie thermiques attendues et des architectures puits, était à priori favorable en raison (i) de la structure multicouche locale du réservoir géothermal, permettant d'escompter une percée thermique à échéance de 25-30 années supplémentaires, et (ii) de la conception réversible (symétrique) des puits, tubés initialement en diamètres 13^{3/8}, télescopés 9^{5/8}, sur des portées respectives de 1000 mètres, recomplétés en diamètres 11^{3/4} x 10^{3/4} x 7^{5/8} conformément aux profils schématisés en Figure 120.

L'entreprise, qui permet de perpétuer l'exploitation au débit nominal, au prix d'un léger surcoût énergétique (accroissement de l'ordre du bar des pressions de production et d'injection), réalise une économie de 70% par rapport au coût de réalisation (de 8 à 9 M€ HT) d'un doublet neuf. Dont acte.

b) Doublet versus triplet

Les impacts des scénarii de réhabilitation triplet vs doublet sont discutés par Ungemach et al (2007), Le Brun et al (2009) et GPC IP (2011).

Le schéma minier du triplet, illustré en Figure 121, présuppose un état des tubages éligibles, de diamètres (de préférence égaux et supérieurs à 9"5/8) compatibles avec une cimentation fiable des entrefers de rechemisage des puits du doublet ancien, reconditionnés pour la circonstance en ouvrages injecteurs, associés au forage et à la complétion d'un puits producteur nouveau à productivité élevée, qui gagnerait à s'inspirer de l'architecture du puits anti-corrosion développé au chapitre 1.Principes généraux § B.5.

La conception du triplet visera à assurer une productivité/injectivité nominale minimum de 250 m³/h, susceptible d'être portée à 300 m³/h ainsi qu'une durée de vie, physique et thermique, égale à trente ans.

Les mérites respectifs des deux alternatives sont débattus par Lebrun et al (2009) et GPC IP (2011). Le triplet est avantageux au plan du coût d'investissement, pénalisant (légèrement cependant) en consommation électrique à l'injection. Il nécessite, au même titre au demeurant que son compétiteur doublet, un soin particulier dans la trajectoire et l'impact réservoir de l'ouvrage producteur nouveau afin de se prémunir contre tout refroidissement prématuré de ce dernier. Cette phase doit nécessairement s'appuyer sur une géomodélisation fine du réservoir au voisinage du triplet. Le doublet neuf, à priori plus sécurisant sous réserve d'une localisation adéquate des trajectoires et impacts de réservoir, implique un coût d'investissement singulièrement plus élevé. Trois triplets (deux, Sucy en Brie et Champigny, en service, un, Fresnes, en cours de réalisation) sont implantés ou en voie de l'être dans le département.

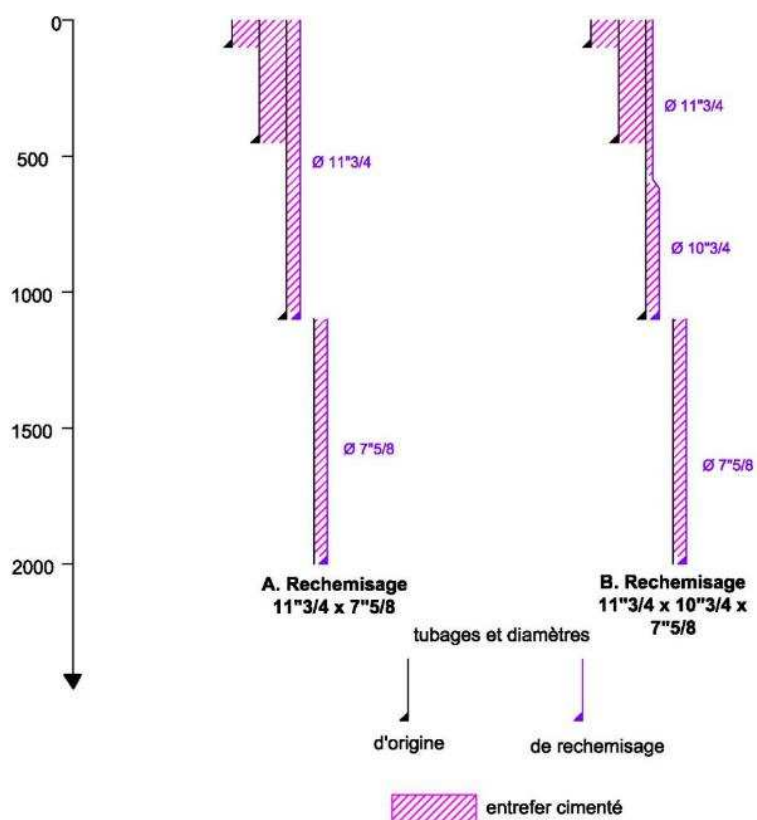


Figure 120 : Profil de puits géothermiques 2^{ème} génération (13^{3/8} x 9^{5/8}) rechemisés totalement

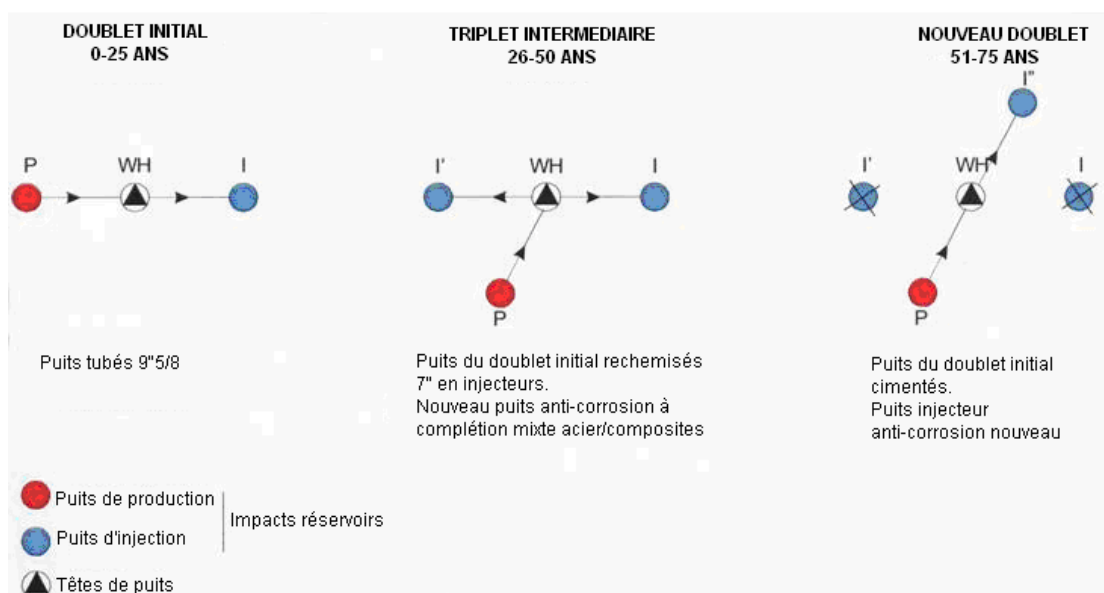


Figure 121 : Développement durable. Schémas miniers candidats

2. Développement de nouveaux aquifères candidats

Ceux-ci, outre le Dogger, sont au nombre de trois, respectivement du haut vers le bas (i) les formations sableuses de l'Albien et de son appendice sous-jacent du Néocomien, interfacés par les argiles semi-perméables du Barrémien, (ii) le Lusitanien et plus particulièrement les bancs calcaires poreux du Rauracien, et (iii) les formations clastiques à faciès détritiques fluvio-deltaïques gréseux et gréso-argileux.

Tous trois démontrent des propriétés aquifères reconnues sinon avérées à l'exception de l'Albien-Néocomien, abondamment exploité sinon surexploité dans certaines zones (départements de l'Essonne, Yvelines et, localement, Seine-Saint-Denis, Hauts-de-Seine et Paris *intra-muros*) et objet de ce fait d'une réglementation contraignante gérée par la DRIEE et le SDAGE (cf. 1.Principes généraux § B.3.).

a) Albien-Néocomien

La porosité des faciès sableux propres, d'épaisseur décamétrique, est garante de transmissivités et productivités élevées, plus élevées pour l'Albien, voisines de 50 Dm et 250 m³/h. Il s'agit de ressources en eaux douces largement reconnues et exploitées pour des besoins en AEP et AEI, protégées par une réglementation *ad-hoc* motivée par des raisons stratégiques liées à l'alimentation en eau d'appoint/ secours de l'agglomération parisienne.

Les températures de formation, proches de 30°C, nécessitent l'intégration de pompes à chaleur (PAC) pour la fourniture de chaleur comme de froid ainsi que l'eau chaude sanitaire (ECS) si besoin.

La faible profondeur du toit contraint l'espacement des impacts réservoir des trajectoires puits, augmentant d'autant le risque de court-circuit thermique des puits producteurs dans le cas d'une exploitation mono-usage (froid, chaud) sauf à le compenser par déplacement (onéreux) des têtes de puits sur deux plateformes de forage distantes. Une exploitation combinée chaud-froid, idéalement simultanée (fonctionnement en thermofrigopompe), est par conséquent recommandée.

Un autre problème concerne le risque de colmatage des puits injecteurs (rencontré sur le site parisien de la tour AGF en bordure de Seine) consécutif à l'entraînement de particules fines provenant des formations sableuses et sablo-argileuses, en l'absence de complétion (par crépines et massifs de gravier filtrant) et d'unités de filtration appropriées. Il semble que ce problème soit en voie d'être résolu au vu de réalisations récentes (Fort d' Issy, Plessis-Robinson, entre autres).

Le développement des puits à l'Albien et au Néocomien est limité cependant à sept unités, en vertu de la réglementation SDAGE applicable au Val-de-Marne.

Le Néocomien constitue un prolongement intéressant si l'on en juge par les succès enregistrés à Bruyères-le-Châtel, Corbeil-Essonnes et au Plessis-Robinson. Sa perméabilité, plus faible que celle des sables Albien grossiers sus-jacents, est compensée par des températures de formation plus élevées (de 2 à 3°C).

La complétion mixte visant une exploitation combinée des deux aquifères conformément à l'architecture puits et au schéma de pompage de la Figure 122 permet de concilier une production élevée avec un risque limité de colmatage des puits injecteurs, tout en bénéficiant d'une température plus élevée que celle du seul réservoir Albien.

Le champ de développement de ces ressources prouvées est toutefois limité au regard des besoins et de la transition énergétique.

b) Lusitanien

Les calcaires du Rauracien jouissent d'un excellent contrôle géologique, fourni par les forages pétroliers et géothermiques au Dogger et au Trias (Rhétien). Ils sont en revanche faiblement documentés au plan des essais et prélèvement de fluides et des indices de productivité quasiment existants à l'exception des tests de production réalisés en cours de forage au Dogger sur les puits géothermiques de Ris-Orangis et d'Orly ville (Orly II Le Nouvelet), dont la fiabilité au demeurant est douteuse. Il reste qu'il témoigne de propriétés aquifères et thermiques réelles, subodorées à hauteur de 1100-1200 m/sol (profondeur du toit), 50-56°C (température de formation) et 5-10 Dm (transmissivités), si l'on en juge par les pertes de circulation et l'à coup de pression observés récemment sur un forage de l'Est Parisien.

Des tests de production/injection sérieux (tests sous packer, à travers tiges, DST) assortis du prélèvement d'échantillons d'eau et de remontées (*build-up*) de pression, favorisés par un léger artésianisme du réservoir, sont un préalable incontestable à tout développement et mise en valeur de cette ressource considérée pour l'heure marginale au sens d'une exploitation commerciale.

Sa température implique par ailleurs le recours à des PAC.

Il s'agit en conclusion d'un objectif de développement secondaire dans l'état.

c) Trias inférieur

Les grès Rhétiens (Trias supérieur) qui constituent la principale accumulation d'hydrocarbures du Bassin Parisien offrent *à priori* peu d'intérêt géothermique dans la zone concernée par son développement.

Les grès du Trias Inférieur (Buntsandstein) par contre ont fait l'objet au début des années 1980 de forages au Sud (Melleray), et à l'Ouest (Achères, Cergy) qui tous ont échoué suite à des problèmes insolubles à l'époque rencontrés à l'injection, dont les causes – complétions défectueuses, vitesses d'entrée élevées, absence de filtration – ont été analysées dans divers travaux [Ungemach (edr) (1984), Commission Européenne (2002), Ungemach (2004), Hamm et Lopez (2012)] dédiés aux problèmes d'injection dans des dépôts sédimentaires clastiques. Un exemple de deux mécanismes de colmatage mis en évidence lors d'essais réalisés sur le doublet d'Achères est consigné en Figure 123.

En dépit de ces difficultés, cet objectif ne saurait être abandonné. Les technologies de forage/complétion/filtration ont progressé au point que de récents développements dans les dépôts clastiques connaissent un développement commercial opérationnel aux Pays-Bas (chauffage de serres agricoles et horticoles).

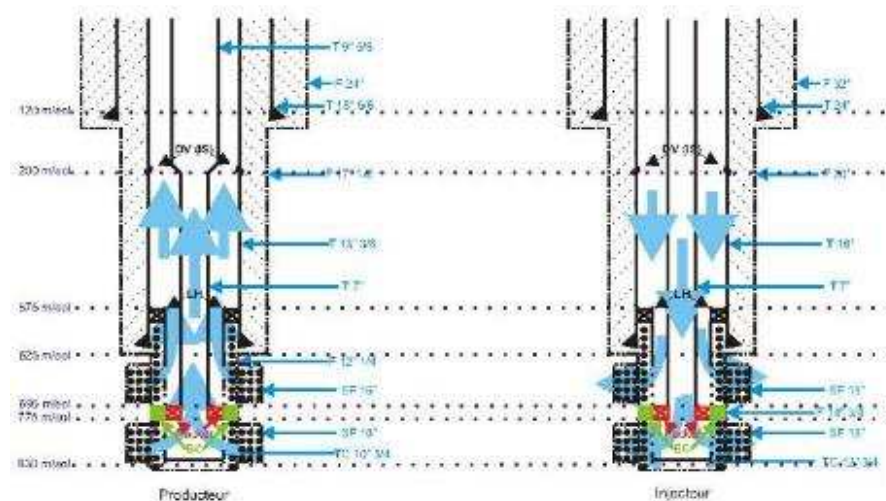
La structure feuilletée des réservoirs infratriassiques du Bassin Parisien devrait se prêter d'autre part à l'implantation de puits à drains horizontaux, bénéficiant de l'expérience acquise, dans des contextes dépositionnels similaires, par les opérateurs pétroliers du Bassin Parisien.

Enfin, une application envisagée récemment viserait à exploiter les eaux chaudes du Trias (températures supérieures à 80°C) et à les (ré)injecter dans les calcaires du Dogger. Il s'agit d'un schéma minier à triple détente (i) produire des fluides à températures plus élevées que celles du Dogger, (ii) soutenir les pressions de formation de ce dernier, et (iii) désengorger l'aménagement futur du réservoir.

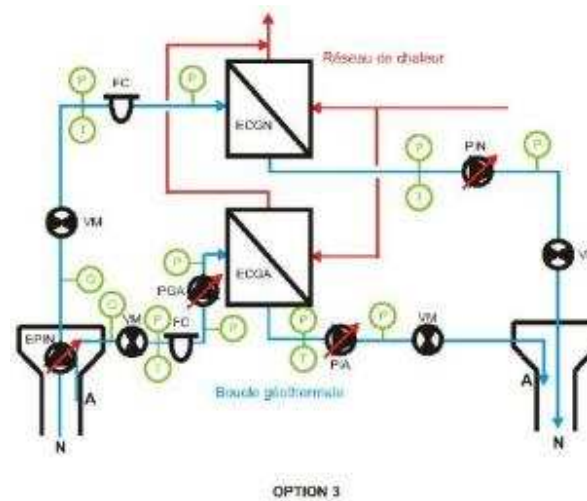
Cette synergie, séduisante dans son principe, suppose (i) une compatibilité thermo-chimique des eaux refroidies du Trias avec les eaux natives du Dogger, et (ii) l'aménagement de la réglementation minière et environnementale applicable au Dogger ainsi qu'au Trias (épuisé, car non alimenté, pour la circonstance).

La compatibilité thermo-chimique a été étudiée en profondeur par Castillo et al (2011) via une modélisation des interactions géochimiques eaux roches et du transport soluble, qui concluent à l'absence d'impact dommageable (sursaturation/précipitation d'espèces minérales sensibles) à l'intégrité du proche réservoir injecté.

Reste à démontrer sur champ la validité du concept et obtenir l'agrément des autorités et institutions compétentes.



- Légende -**
 F: forage
 T: tubage
 TC: tubage cimenté
 SF: surforage
 RC: bouchon colmatant (gel)
 GP: gravel pack
 DV (IS): anneau de cimentation étagée (variant à l'instar)
 LH: liner hanger
- C - ALTERNATIVE 3 - COMPLETIONS DOUBLES ALBIO-APTIEN/NEOCOMIEN
 Puits de production et d'injection**



- Légende -**
 ECGA: Echangeur de chaleur géothermal Albien
 ECGN: Echangeur de chaleur géothermal Néocomien
 EPIN: Electropompe de production immergée (Albien)
 EPIN: Electropompe de production immergée (Néocomien)
 FC: Filtre à cartouches I, I1, I2: Puits d'injection
 P: Puits de production
 PGA: Pompe de gavage Albien
 PIA: Pompe d'injection Albien
 PIN: Pompe d'injection Néocomien
 P/Q/T: Pression/Débit/Température
 VM: Vanne maître

a) Complétion d'ouvrage candidat

b) Configuration de pompage/échange de chaleur de la boucle géothermale

Figure 122 : Complétion doublet Albien-Néocomien

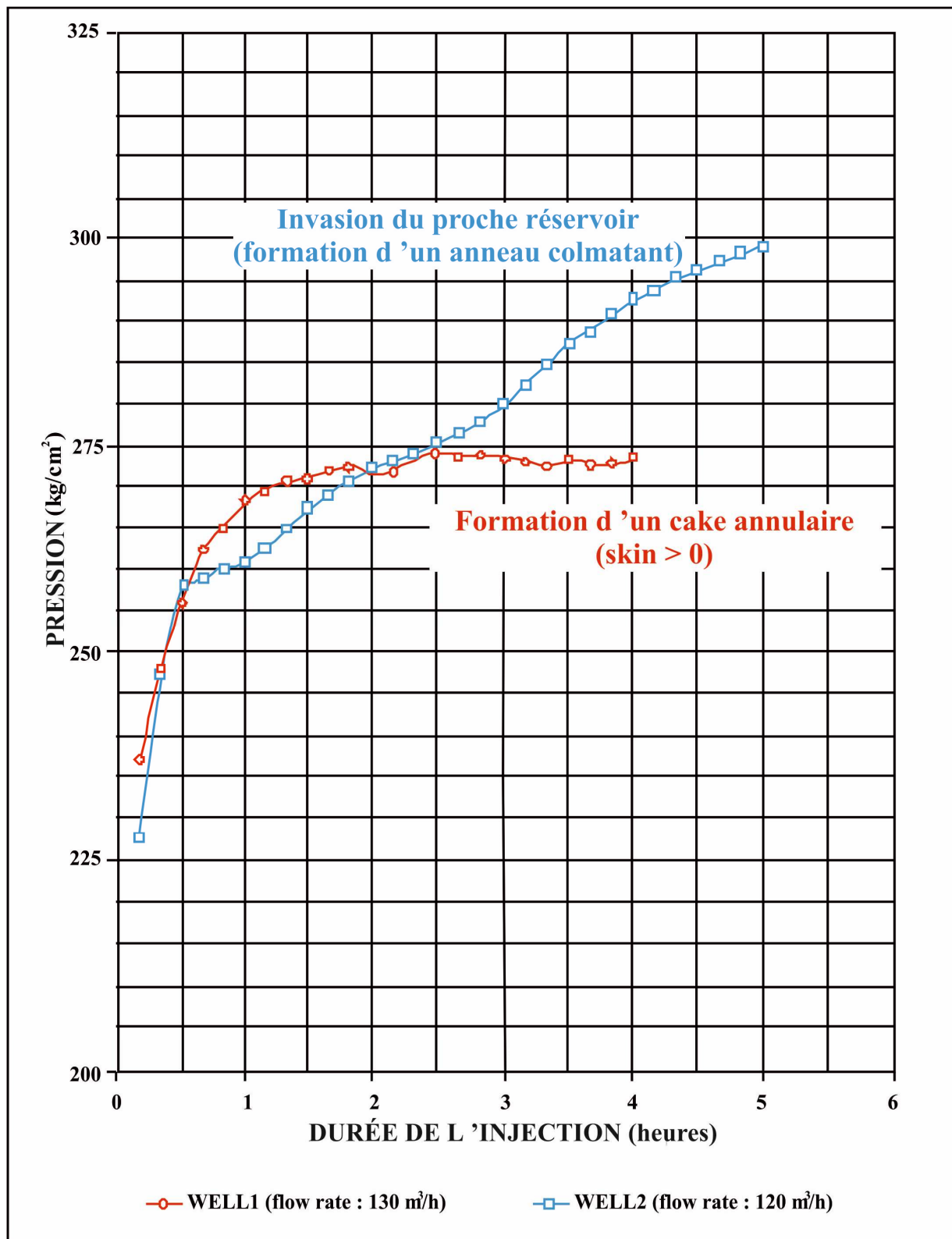


Figure 123 : Mécanismes de colmatage d'une formation clastique par des particules en suspension

3. Développement de nouvelles architectures de puits

Les performances des complétions géothermiques conventionnelles peuvent être améliorées via la symétrie des architectures puits dont on a pu enregistrer les bienfaits lors de la recomplétion des doublets de Maisons-Alfort discutée au §1.2.1. Cette réversibilité peut être exploitée s'agissant de l'attribution de la fonction production vs injection à la lumière des résultats des essais de fin de forage/ complétion. Son surcoût d'exécution est d'autre part minime pour ne pas dire insignifiant.

Des complétions innovantes (en ingénierie géothermique s'entend) restent dans l'attente de réalisations qui tardent à se concrétiser, conséquence d'un conservatisme technologique, surprenant de la part d'une communauté géothermique qui a su démontrer en d'autre temps un vigoureux dynamisme entrepreneurial sur le site emblématique de Melun l'Almont (première réalisation commerciale du concept de doublet géothermique), à Villeneuve-la-Garenne (tubage composites cimentés) et à l'occasion de développement spectaculaire du chauffage urbain géothermique au lendemain des chocs pétroliers de la décennie 1970.

Au premier rang de celles-ci, et pour nous limiter au réservoir du Dogger en Ile-de-France, mentionnons la réalisation, en février 1995, du puits de production nouveau combinant tubages de soutènement acier et colonnes de production en matériaux composites à annulaire libre décrit en Figure 124 dont le palmarès d'exploitation est éloquent : production artésienne de 300 m³/h ; aucune intervention de *workover*/ service puits en 18 ans à l'exception du remplacement d'une vanne maîtresse. On en redemanderait pour moins !

La technique du forage horizontal dupliquée, depuis la réalisation pionnière de Rospo Mare (mer Adriatique) en 1979, à plus de 150 000 exemplaires au point qu'elle ressortit à une pratique routinière en matière de forage/ complétion pétroliers apparaît prometteuse, en particulier dans des structures réservoir multicouches alternant niveaux perméables, fréquemment peu épais, entrecoupés de passées argile-marneuses très peu perméables, caractéristiques de nombreux environnements sédimentaires exploités en géothermie.

Elle s'appliquerait aux formations clastiques du Trias Inférieur du Bassin Parisien matérialisées par des bancs gréseux à perméabilité élevée, peu épais, cible par excellence de drains horizontaux, accroissant la productivité d'ouvrage et ralentissant les vitesses d'entrée du fluide, limitant d'autant les risques d'entraînement des fines particules en suspension dommageables à l'intégrité du puits injecteur associé.

Une variante subhorizontale promue par GPC IP [Ungemach et al (2011), Promis et al (2011), GPC IP (doc. int. n° DCE13238)] schématisée en Figure 125 et Figure 126, vise à intersecter suivant une trajectoire de portée proche de 1000 m, quasi-horizontale, la totalité des couches perméables du Dogger. Une telle

architecture autorise des accroissements de 50% des productivités nominales d'ouvrage et un meilleur taux de récupération de la chaleur en place (drainage accru du réservoir et re-essuyage thermique des épontes encaissantes). Son impact est non négligeable vis-à-vis de la multiplication des réseaux de chaleur, de l'encombrement concomitant des doublets et des risques de chevauchement des gélules d'exploitation réglementaires, qui ne manque pas de susciter l'intérêt des autorités de tutelle concernées (DRIEE, ADEME, ...) pour une architecture susceptible de réduire sensiblement l'emprise des infrastructures sous-sol (un doublet au lieu et place de deux pour un coût unitaire supérieur de 15 à 20% à l'architecture conventionnelle).

Enfin, concernant la complétion des ouvrages à l'Albien et au Néocomien et les risques d'entraînement de suspension solides et de colmatage des puits injecteurs inhérents à la texture sableuse faiblement consolidée des aquifères, qui s'ajoutent au danger de court-circuit thermique prématuré de l'ouvrage producteur, conséquence d'un espacement insuffisant des impacts réservoir des trajectoires puits, l'architecture à double complétion Albien/Néocomien illustrée en Figure 122 apparaît un candidat recommandable. Il autorise une productivité élevée ainsi qu'une température supérieure à celle du seul réservoir Albien, tout en minimisant les aléas de colmatage à l'injection ainsi que le refroidissement prématuré du puits producteur.

PUITS TUBE ACIER/COMPOSITES
COMBINED STEEL CASING/FIBER GLASS LINING WELL

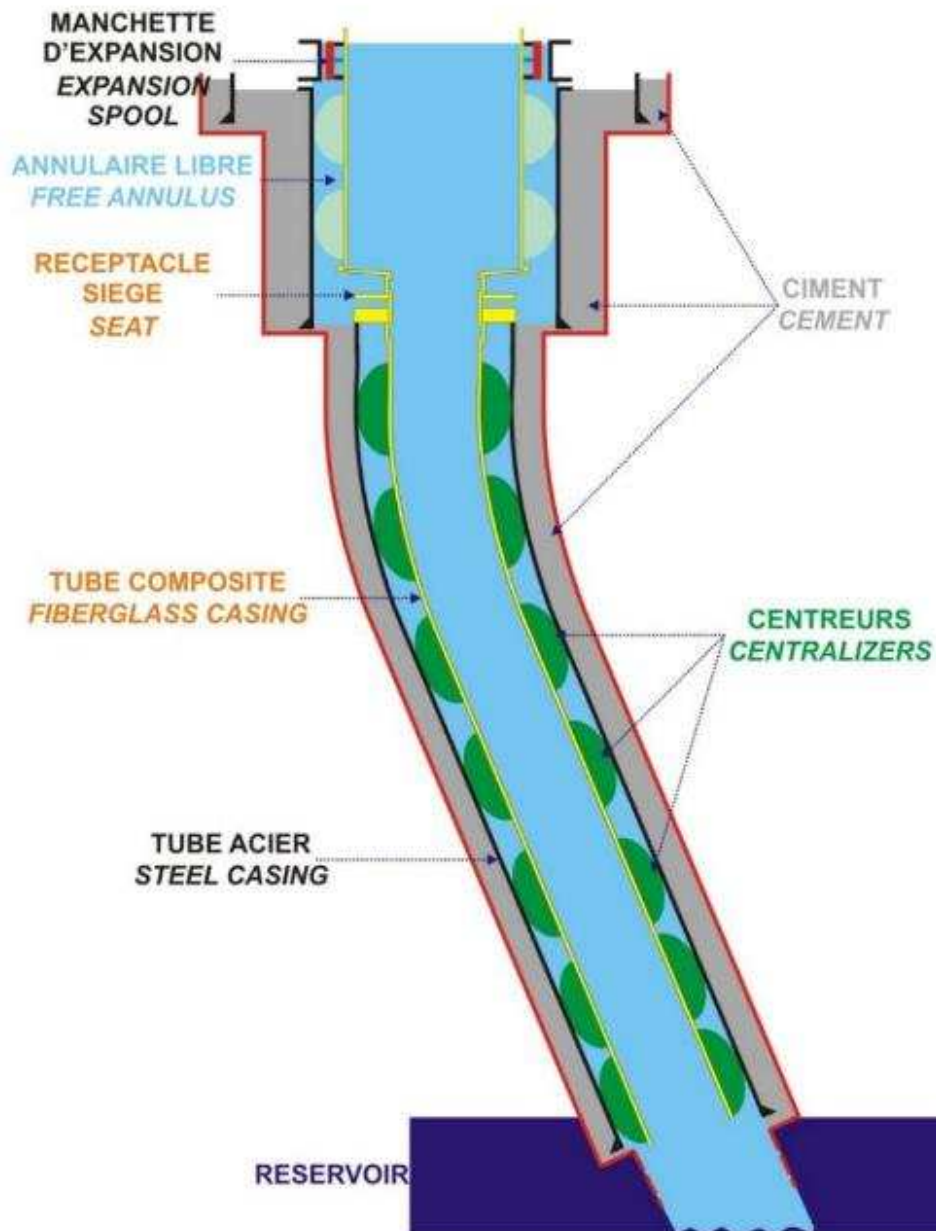


Figure 124 : Concept de puits anti-corrosion

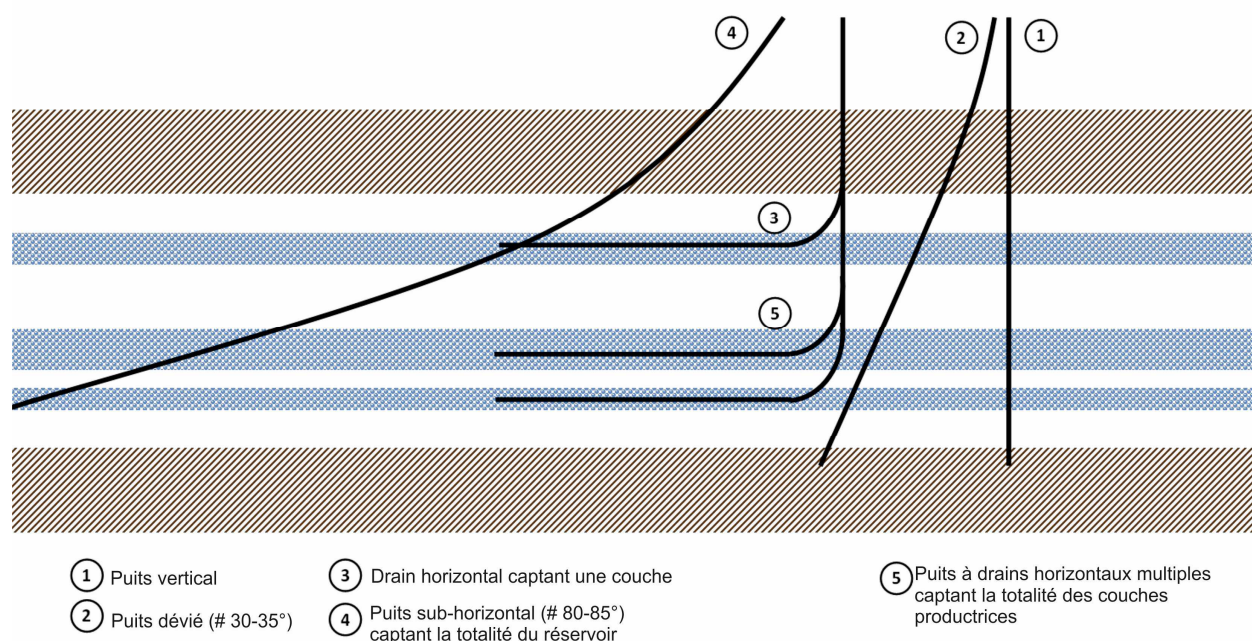
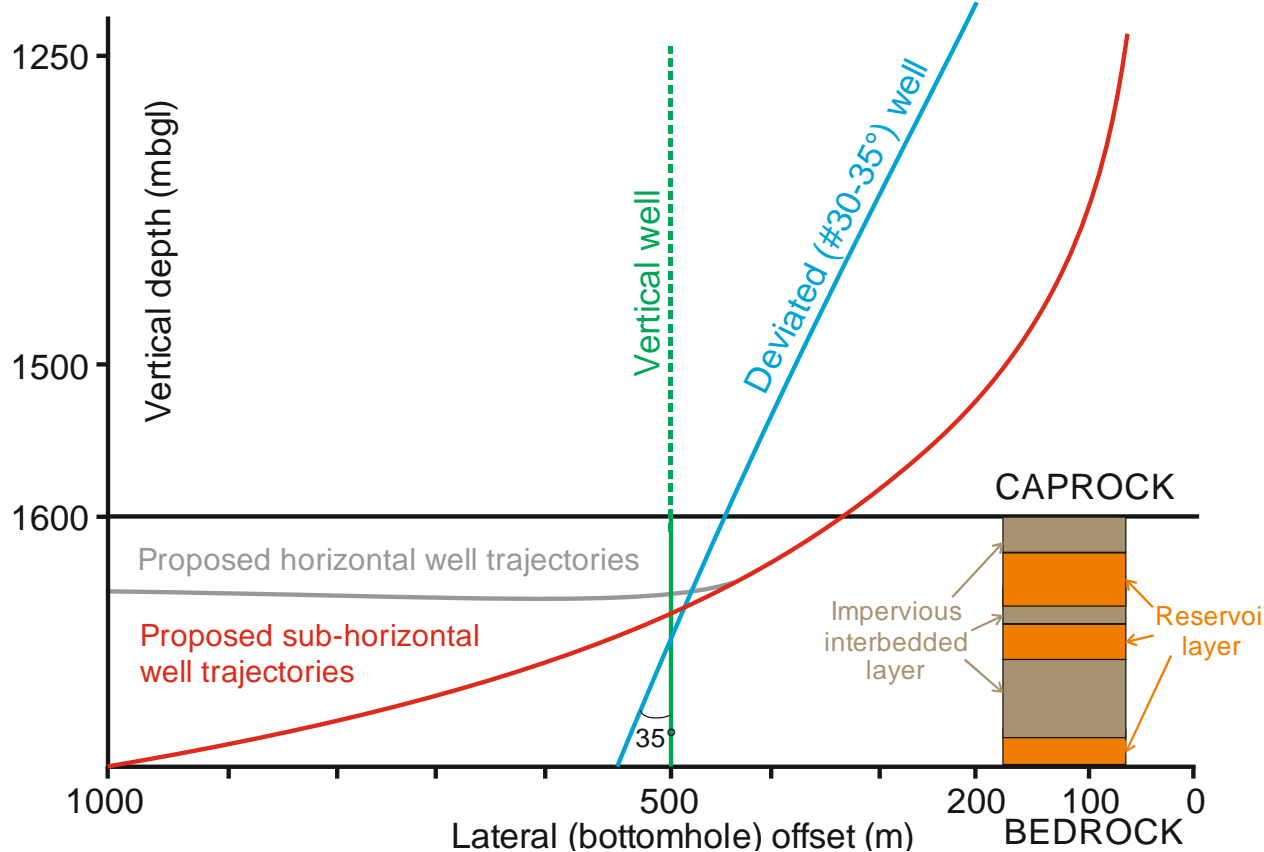


Figure 125 : Profils et trajectoires de puits (sub)horizontaux

PROFONDEUR
VERTICALE (m/sol)

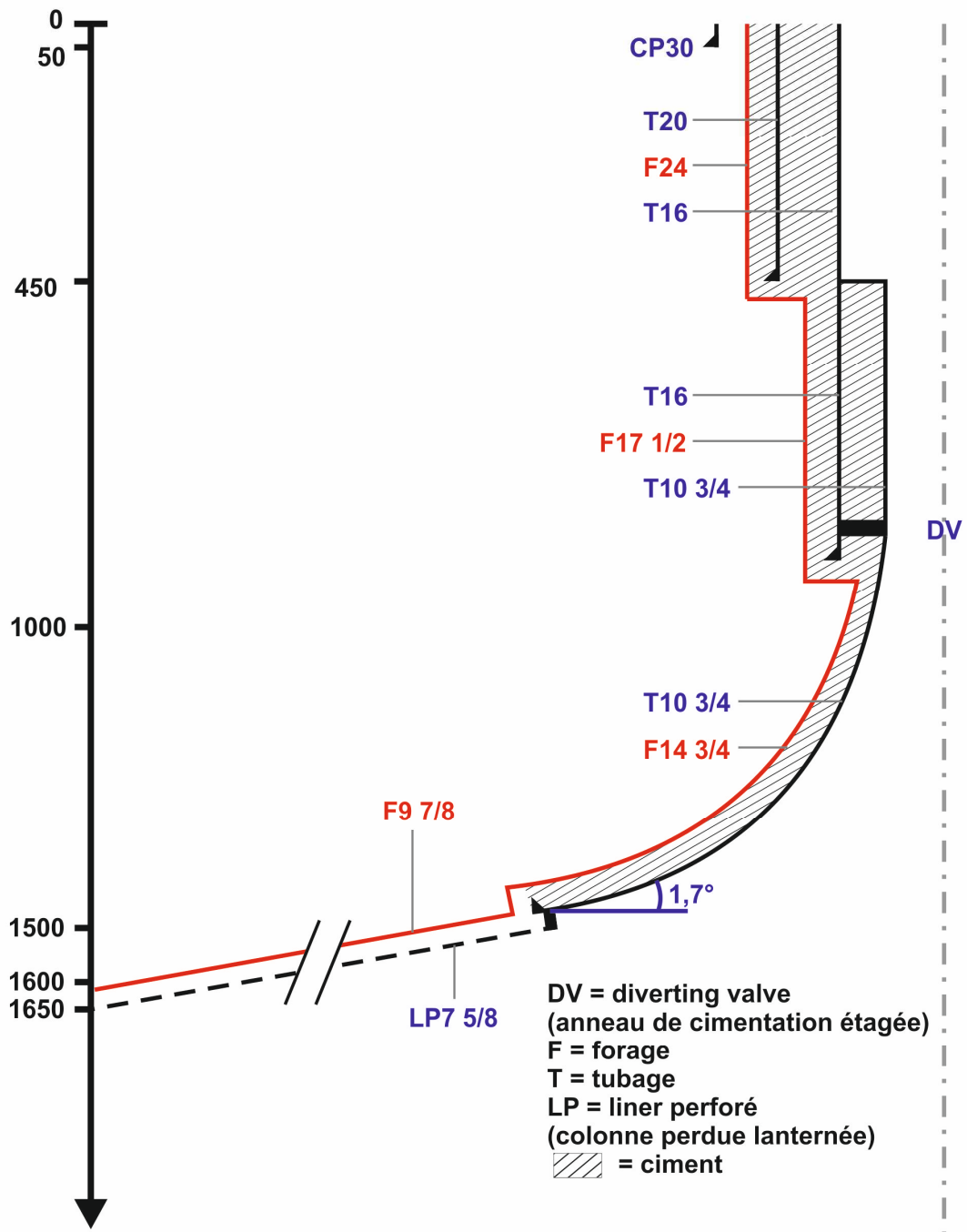


Figure 126 : Architecture de puits sub-horizontale

4. Stockage de chaleur saisonnier en aquifère

La demande de chaleur est caractérisée par des fluctuations considérables au cours du temps : à l'échelle de la journée, de la semaine mais également des saisons. Ainsi, la puissance thermique appelée en période de pointe est bien supérieure aux besoins annuels moyens. Par ailleurs, une partie de l'énergie produite par divers procédés industriels comme l'incinération d'ordures peut ne pas être utilisée en été, et donc gaspillée.

L'idée du stockage de chaleur inter-saisonnier est donc de stocker de l'énergie non carbonée en excès lorsqu'elle est disponible en été, et de l'utiliser en hiver, en remplacement d'énergies fossiles, afin de compenser le décalage temporel entre la demande et la consommation de chaleur (cf. Figure 127). L'eau serait extraite de l'aquifère profond visé, et portée à 100°C environ grâce à la chaleur excédentaire issue des usines d'incinération, avant de la réinjecter par un autre puits afin de constituer une « bulle » de stockage. La chaleur excédentaire de l'été sera ainsi conservée dans l'attente de son utilisation l'hiver suivant pour chauffer des immeubles de la région, selon un processus de production et réinjection inversé : prélever dans la bulle chaude et réinjecter l'eau refroidie destinée au cycle suivant.

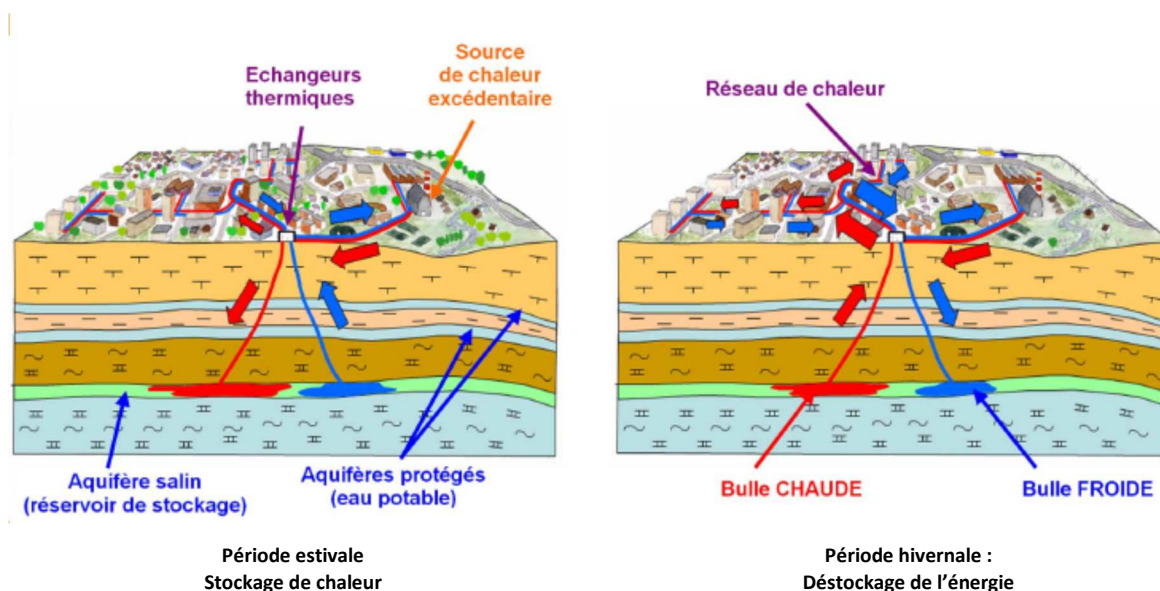


Figure 127 : Schéma de principe du stockage de chaleur en aquifère profond (source : Lesueur, 2012)

A très long terme, le stockage saisonnier de chaleur dans l'aquifère du Dogger pourrait permettre de lisser la demande en énergie pendant les pics de production en hiver et rétablir la température initiale de l'aquifère.

Depuis 2007, le BRGM²⁶ travaille sur l'opportunité, l'optimisation et la faisabilité du stockage saisonnier de chaleur perdue en aquifère profond via le projet GEOSTOCAL (acronyme de GEOSTockage de ChAleur).

²⁶ Le BRGM est le coordinateur d'un groupement constitué de l'IFPEN, d'Armines-Mines ParisTech, d'EIVP, de la LGUEH (Université Paris Est Marne-la-Vallée), de CPCU et de CFG Service

Un site d'étude a été identifié à Ivry-sur-Seine, qui réunit les trois conditions suivantes (cf. Figure 128) :

- une source de chaleur excédentaire en période estivale : l'usine d'incinération des ordures ménagères du SYCTOM raccordée au réseau de vapeur CPCU, pouvant apporter jusqu'à 100 MW,
- des niveaux géologiques permettant le stockage, et dont les caractéristiques hydrogéologiques et thermiques sont bien connues : l'aquifère du Dogger (présence de l'ancien doublet d'Ivry-sur-Seine à proximité),
- une demande hivernale pour la chaleur déstockée : présence d'un secteur urbain en rénovation (secteur « Avenir-Gambetta ») et de réseaux de chaleur aux caractéristiques compatibles avec la température de déstockage.



Figure 128 : Localisation des éléments constitutifs du projet GEOSTOCAL

Le projet prévoit la mise en œuvre d'un scénario de base évolutif en plusieurs variantes sur le long terme :

- A la mise en service :
 - Exploitation d'un doublet de stockage fonctionnant au débit nominal de 250-300 m³/h,
 - Température de stockage chaud : 90-95°C,
 - Rendement de déstockage thermique minimum : 75%,
 - Alimentation du réseau à une température de 90°C, appoint en température par le réseau vapeur si nécessaire ;
- En phase avec l'extension progressive du réseau de chaleur :
 - évolution vers deux doublets ou vers un quadruplet de stockage,
 - débit nominal par puits : 250-300 m³/h,
 - température de stockage chaud : 90-95°C,
 - alimentation progressive d'un réseau en 70/40°C,

- rendement de déstockage thermique supérieur à 75%.

Les défis scientifiques et techniques relevés par ce projet sont les suivants :

- proposition d'une pérennité accrue des opérations de géothermie profonde,
- maîtrise sur le long terme des phénomènes hydro-géo-chimiques,
- conception de la réversibilité des puits géothermiques permettant à la fois le stockage et le déstockage de chaleur,
- proposition de puissances thermiques supérieures à la géothermie classique,
- garantie à long terme de la compatibilité du système vis-à-vis du développement urbain.

Convaincu par les résultats obtenus, CPCU porte aujourd'hui un projet de démonstration industrielle de l'une des configurations étudiées par le projet.

C. La géothermie, une énergie renouvelable ?

Il s'agit d'une question controversée largement débattue dans la profession. En témoignent les contributions de Gringarten (1987), Rybach (2003), Alexsson et al (2004), Sanyal (2005) et Ungemach et al (2007).

Elle peut se résumer comme suit :

A la question : la géothermie est-elle une source d'énergie renouvelable, la réponse est sans ambiguïté oui.

La preuve ? L'évidence d'un gradient de température positif donc d'un flux de chaleur en provenance de l'écorce terrestre et du manteau supérieur, de densité (moyenne continentale) 60 mW/m².

A la question : la géothermie est-elle une source d'énergie inépuisable la réponse est sans ambiguïté non.

La preuve ? La percée thermique enregistrée sur le puits producteur d'Alfortville, signe évident d'épuisement de la ressource.

La raison de ce paradoxe ? Le mode de transfert de la chaleur, conductif pour le renouvellement, convectif (forcé) pour l'exploitation soit au moins un ordre de grandeur supérieur.

En effet, à la différence des énergies éolienne et solaire, qui ne peuvent être exploitées au-delà de l'énergie portée par le vent ou irradiée par le soleil, l'énergie géothermique est exploitée au-dessus du flux géothermique, seuil de recharge naturelle.

Se pose aussi le problème de savoir quelle fraction de la chaleur emmagasinée dans la partie supérieure (dans la limite de 5 à 10 km) de l'écorce terrestre peut être techniquement récupérée et sur quelle durée peut-elle être exploitée économiquement. Problématique qui se situe au cœur du thème du développement durable de la ressource et de sa gestion.

Deux aspects distinctifs des champs géothermiques ont pu alimenter la confusion, respectivement l'apport météorique à la recharge des réservoirs et la convection magmato-tectonique, caractéristique des réservoirs à haute enthalpie (vapeur, eau pressurisée). Ils ont longtemps entretenu l'idée que l'exploitation pouvait atteindre un état d'équilibre (en quelque sorte structurel) régi par la pluviométrie et/ou la convection naturelle, assimilant la géothermie *de facto* à une source d'énergie inépuisable !

L'observation des indices géochimiques du champ de vapeur des Geysers en Californie, qui a permis de mettre en évidence la fermeture du réservoir profond, isolé ainsi des sources chaudes réalimentées, superficielles (Allen et Day cités par Ramey, 1987) et une analyse des bilans énergétiques de 37 champs haute enthalpie à eau pressurisée, concluant qu'en moyenne la recharge naturelle était inférieure d'un ordre de grandeur à la capacité de production durable (*sustainable*) (Sanyal, 2005) ont apporté un démenti cinglant à ces croyances tenaces.

Ces concepts ont été illustrés par Economids (1987) et Ungemach (1988) sur des exemples empruntés aux deux champs géothermiques majeurs des Geysers et du Dogger Bassin de Paris.

Les taux de récupération de la chaleur en place sont analysés en annexe 1 pour deux équivalences de réservoir multicouche, dans l'hypothèse d'une exploitation par doublets, dont les emprises se conforment aux gélules définies par la réglementation minière et environnementale en vigueur. La vision purement statique du taux de récupération, limité au seul épuisement du stock de chaleur emmagasiné dans le réservoir, a été amendée par l'introduction du temps de percée thermique, dont la formulation, dans l'équivalence multicouche *sandwich*, qui intègre l'apport conductif dopant des épontes a pu démontrer sa validité.

Dans la majorité des exploitations étudiées ce temps de percée, qui définit la durée de vie thermique du système, dépasse le seuil de trente années imparti à la durée de vie physique des puits.

Ce constat prend toute sa signification à un moment du développement de la géothermie de chauffage urbain en Ile de France où les opérateurs envisagent, pour compenser la baisse de demande unitaire des bâtiments imposée par les nouvelles normes d'isolation (RT 2012), des débits d'exploitation nominaux de 350 m³/h et des températures d'injection abaissées (via des PAC) à 25°C soit des capacités installées et productions annuelles de chaleur pouvant atteindre respectivement 20 MW_t et 60 000 MWh_t.

Dans cet ordre d'idées, la production alternée et, de préférence, simultanée de chaleur et de froid, améliorerait très sensiblement la charge thermique des installations ainsi que les taux de récupération sans parler des bilans et durées de vie thermiques qui, idéalement, parviendraient à l'équilibre.

2. Plan d'action

Cette partie présente quelques orientations ainsi que plusieurs mesures qui peuvent être mises en place afin de favoriser le développement des réseaux de chaleur dans le département.

A. *Aspects énergétiques*

Dans cette rubrique sont essentiellement listés les points qui sont de nature à influencer la production des réseaux de chaleur.

1. Introduire une ENR&R de pointe dans le bouquet énergétique des réseaux

Les ENR&R actuellement en exploitation dans le département du Val-de-Marne ont un point commun : ce sont des énergies dites « de base » d'un bouquet énergétique. En effet, quel que soit leur nature, elles ne peuvent pas assurer la fourniture de chaleur lors des pointes (intermittence) et sont difficilement associables :

- Géothermie : nécessite un fonctionnement continu et le plus optimisé possible afin d'amortir l'investissement initial.
- Biomasse : minimum technique important et démarrage « lent ».
- Récupération de chaleur : nécessité d'être « enlevée » immédiatement dans des quantités limitées et généralement indépendantes du gestionnaire du réseau.
- Solaire : Fonctionnement intermittent et non contrôlé.

Pour ces raisons, le gaz naturel, voire le fioul, restent encore importants dans les bouquets énergétiques des réseaux. **A l'heure actuelle, seul le développement de la filière du biogaz est de nature à concurrencer le gaz naturel sur ces secteurs.**

L'enjeu est important sur ce secteur dans le Val-de-Marne. En effet, le département possède ¼ des capacités régionales d'incinération des déchets (cf. 1.C.2 Usines d'Incinération des Ordures Ménagères).

Si l'on se réfère aux objectifs du PREDMA (Plan Régional d'Élimination des Déchet Ménagers et Assimilés), il est attendu une production de déchets de 437 kg/hab./an en 2019. Le département du Val-de-Marne ayant une population de 1 327 732 habitants au dernier recensement (2010), en 2019, il serait produit environ 580 000 tonnes de déchets.

Le PREDMA fixe aussi l'objectif de traiter 60 % de ces déchets ménagers, soit une quantité disponible d'environ 350 000 tonnes de déchets pour les mécanismes de recyclage et valorisation organique (Méthanisation). En admettant que cette dernière englobe les 2/3 des déchets entrants, il y aurait donc environ 230 000 tonnes de déchets disponibles pour la production de biogaz.

Suivant les mécanismes mis en jeux et sa constitution, une tonne d'ordures ménagères produit entre 300 et 100 m³ de Biogaz. Sachant aussi qu'un m³ de biogaz contient environ 60% de méthane et que le PCS du méthane est d'environ 9,42 kWh/m³, une tonne d'ordure ménagère produirait environ 0,565 MWh PCS.

Au final, près de 130 000 MWh PCS de biogaz pourraient être produits avec les déchets des habitants du Val-de-Marne tout en respectant les objectifs fixés par la Région. Compte-tenu des rendements de production (90% : passage PCS -> PCI, 95% : passage PCI -> MWh utile), **si cette quantité était injectée sur le réseau de distribution de gaz à l'attention exclusive des réseaux de chaleur du département, environ 20 % de la production au Gaz Naturel actuellement utilisée pour la production de chaleur (cf. Figure 46) seraient assurés par cette énergie.**

Attention toutefois, les objectifs de la région sont également de réduire les capacités incinérées de 25%. A l'heure actuelle, le SYCTOM, compte-tenu de ces objectifs, considère que le nombre d'équivalent logements fournis en chaleur restera sensiblement le même du fait de l'augmentation du PCI des combustibles solides incinérés.

Plusieurs axes (liste non exhaustive) sont à développer afin de faire émerger cette filière d'ici 2019 :

- Augmentation des capacités de production de biogaz
- Assurer l'injection des quantités produites sur le réseau de distribution
- Mettre en place un système de certificats verts avec garantie d'origine selon le système actuellement en vigueur pour l'électricité.
- Favoriser l'utilisation du biogaz produit dans des réseaux de chaleur plutôt qu'en systèmes individuels.
- Maintenir un coût du biogaz compétitif par rapport au gaz naturel.
- ...

2. Imposer dans les nouvelles constructions des régimes de basse température

Aujourd'hui, les régimes de distribution de chaleur dans les immeubles existants sont généralement réalisés en « Haute Température » (80/60°C). Également, bien que cela tende à disparaître, ces émetteurs se retrouvent dans des habitations récentes.

Ces régimes de température ne pas adaptés pour la valorisation d'énergies renouvelables (géothermie, solaire) et de récupération (eaux usées, data center...). **En effet, plus la température du réseau de distribution est basse, plus celui-ci peut avoir accès à une variété importante de sources de chaleur.**

Cet élément est particulièrement adapté au cas du Val-de-Marne, car il permet d'augmenter la valorisation de la ressource géothermale. Cela permet également d'envisager la création de systèmes de distribution de chaleur par cascades de température (HT -> MT -> BT) sur ces réseaux.

En conséquence, généraliser les émetteurs à Basse Température (BT – 60/40°C), voire à Très Basse Température (TBT - 45/35°C), dans les nouvelles ZAC, et particulièrement dans les villes où un réseau de chaleur géothermal existe, permettra d’optimiser le fonctionnement global des réseaux. Cette disposition doit, de même, être étendue à toutes les constructions neuves collectives afin d’autoriser, dans l’avenir, leur raccordement sur ces réseaux dans les meilleures conditions.

La mise en œuvre de cette disposition serait assez simple :

- Assurer la communication du réseau de chaleur la plus amont possible afin que les maîtres d’ouvrages intègrent ses spécificités dans les études projet.
- Intégrer un point de contrôle lors de l’examen des permis de construire
- Proposer un subventionnement afin de couvrir le surcoût d’investissement (ce point peut se justifier sur des centrales de traitement d’air)
- Créer un mécanisme de financement de travaux dans les habitations existantes. Ce fonds pourrait être doté par une contribution sur le prix de chaleur payé par les abonnés des réseaux
- Dans les opérations de réhabilitation sur des bâtiments peu performants énergétiquement, notamment en cas d’isolation, favoriser le maintien des radiateurs existants (surdimensionnés après réhabilitation permettant un régime de température plus bas sans investissement).

L’objet est de créer un cercle vertueux : Abaissement de la température de réinjection -> Valorisation supplémentaire de géothermie -> Augmentation du taux d’ENR&R -> Pérennisation du taux de TVA réduit et baisse du coût de la part variable -> Attractivité du tarif du réseau -> Développement vers de nouveaux abonnés avec émetteurs de température

3. Développer la filière Bois

Le Val-de-Marne dispose d’atouts indéniables quant à la ressource sylvicole : environ 10 % de son territoire (2 550 hectares) est couvert par des forêts. Cette ressource se situe essentiellement dans le sud-est du Val-de-Marne.

D’autre part, le département est traversé par la Seine et la Marne rendant possible l’émergence d’un transport fluvial pour l’acheminement de la ressource : Sud <-> Nord (Seine pour le département de l’Essonne) et est <-> Ouest (Marne pour le département de la Seine-et-Marne).

Ces éléments peuvent servir d’appui pour :

- **Développer une capacité de production Biomasse de taille importante** : la centrale CPCU d’Ivry-sur-Seine et la centrale thermique d’EDF de Vitry-sur-Seine (approvisionnement du charbon actuellement réalisé par la Seine) sont à proximité immédiate de la Seine.
- **Faire émerger une production biomasse pour un réseau situé à proximité de la Seine ou de la Marne** : ZAC Ivry Confluence, ZAC des Ardoines, Alfortville, Bonneuil-sur-Marne, Choisy-Vitry ou sur les projets identifiés dans le cadre de l’étude (Charenton/Saint-Maurice, Bry/Villiers)

- **Faire émerger une production biomasse pour un réseau éventuellement à créer dans le secteur Sud-Est du département.** Compte-tenu de l'identification faite dans la présente étude, les potentialités sont limitées par le faible nombre de logements chauffés collectivement, le recours à la biomasse ne pourra donc être possible que dans le cas où il y aurait création d'une ZAC dont la taille ne justifie pas le recours à la géothermie profonde.

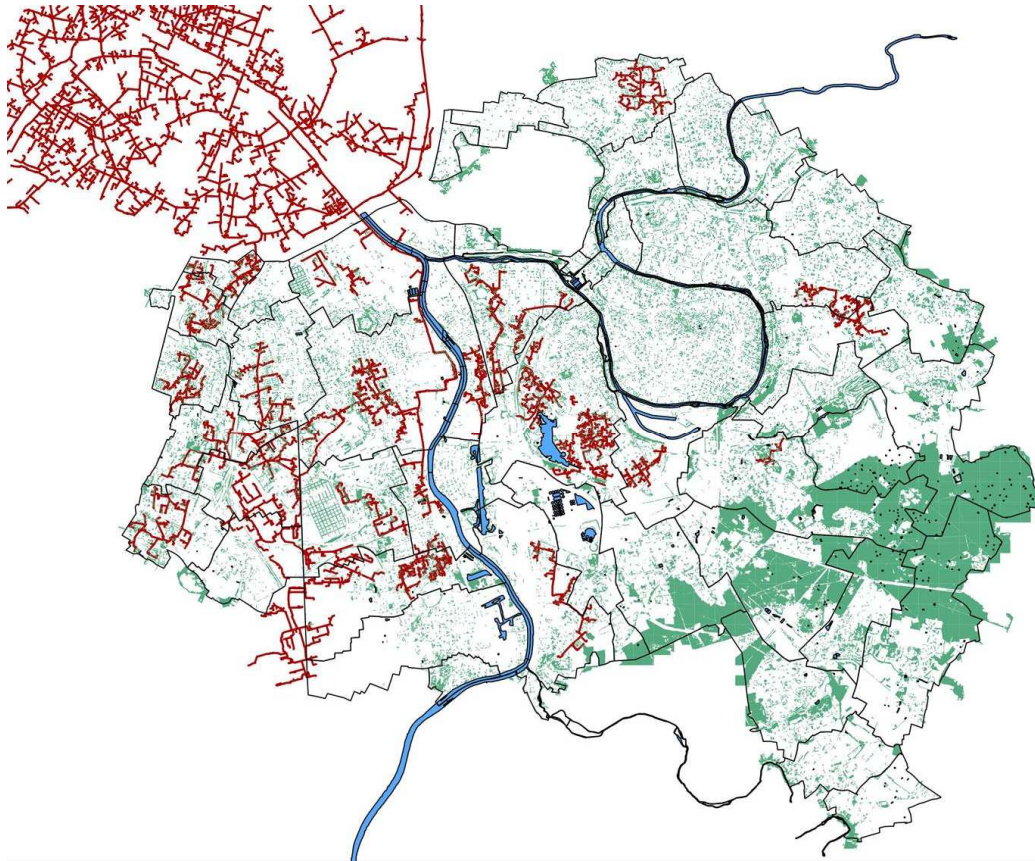


Figure 129 : Etat sylvoicole (vert) et fluvial (bleu) du Val-de-Marne par rapport aux réseaux de chaleur existants (rouge)

4. Bonifier la transformation prévue de la centrale EDF de Vitry-sur-Seine.

La centrale thermique au charbon de Vitry-sur-Seine est une installation gérée par EDF. Elle comprend deux unités de production d'une puissance totale de 500 MW (250 MW par unité). La centrale occupe actuellement un emplacement stratégique, au cœur de la région Île-de-France (15% de la consommation française), avec un raccordement direct au réseau régional d'alimentation électrique (225.000 volts).

Cependant, la centrale sera définitivement mise à l'arrêt en 2015 pour respecter les directives européennes (fonctionnement sous régime de dérogation depuis 2008 pour non-respect des émissions de NO_x). EDF souhaiterait conserver un moyen de production d'électricité sur site et ainsi construire une centrale à cycle combiné au gaz naturel.

Si l'on conserve le même fonctionnement pour la chaufferie rénovée (500 MW sur environ 500 heures par an), la production annuelle serait de 250 000 MWh électrique. En considérant un rendement global de la centrale de 75% et un rendement électrique de 60 %, **la récupération de chaleur possible sur le site de la centrale EDF de Vitry-sur-Seine serait de 62 500 MWh thermique à terme.**

Cette capacité est de nature à accompagner le développement du réseau de Choisy-Vitry, notamment en appoint du futur réseau de la ZAC des Ardoines et en complément pour le développement du réseau existant.

L'utilisation de la chaleur résiduelle doit faire partie des négociations avec EDF en vue de la création de la nouvelle centrale de production. **Ce point nécessitera vraisemblablement un engagement politique fort (Ville, Syndicat, Département, Région) pour faire émerger cette disposition.**

5. Encourager le développement de réseaux de froid urbain

Le département possède plusieurs quartiers de bureaux qui pourraient être propices au développement de réseaux de froid urbain : Centre Administratif de Créteil, Front de Seine cotés Ouest (Ivry-sur-Seine) et Est (Charenton), Rungis...

Des études d'opportunité sur ces secteurs pourraient être à lancer par les collectivités concernées.

B. Aménagement du territoire

Dans cette partie sont évoqués les aspects d'aménagement du territoire sur lesquels la collectivité peut directement agir.

1. Création de zones de développement prioritaire des RCU

Dans le cadre de la modernisation de la procédure de classement des réseaux de chaleur, il a été créé, pour les réseaux classés, des Zones de Développement Prioritaire (ZDP). Ces zones sont déterminées par la procédure de classement réalisée en concertation avec le gestionnaire du réseau de chaleur.

Dans les Zones de Développement Prioritaire, le raccordement au réseau est rendu obligatoire pour toute construction nouvelle et/ou réhabilitation.

Il serait souhaitable que la collectivité associe à ces ZDP des objectifs chiffrés au gestionnaire du réseau sur le développement à court terme (par exemple : 80 % des prospects en 5 ans). Les objectifs doivent être incitatifs afin que le démarchage commercial du gestionnaire soit proactif.

Cette mesure serait à intégrer dans les contrats liant les collectivités aux gestionnaires de réseau.

2. Imposer la création d'un RCU avec une ZAC

Bien que les dispositions du Grenelle 2 incitent aux études préalables sur les ZAC, la solution « réseau de chaleur » n'est pas automatiquement retenue. Dans ce cadre, il serait pertinent que les collectivités s'engagent le plus en amont possible à faire émerger une solution de réseau de chaleur avec utilisation majoritaire d'ENR&R sur tous les nouveaux quartiers à créer.

Cette volonté est à imposer par la collectivité à l'aménageur de la ZAC.

3. Exploiter le gisement du chauffage individuel

Les chiffres de l'INSEE en 2010 sur l'habitat val-de-marnais indiquent que pour l'habitat collectif (cible privilégiée des réseaux de chauffage urbain), soit environ 443 000 logements, que seul 57 % d'entre-eux disposent d'un système de chauffage collectif centralisé.

Pour le reste, soit environ 190 000 logements, les systèmes de chauffage sont soit de type chauffage central individualisé (type chaudière murales), soit équipés de systèmes électriques. En l'état actuel, ces logements ne sont pas raccordables à un réseau de chaleur.

Ce gisement est équivalent au nombre de logements actuellement raccordés par les réseaux de chaleur du Val-de-Marne. L'exploitation de ce gisement est également source de densification importante pour les réseaux de chaleur existants

L'exploitation de ce gisement peut être réalisée mais est ambitieuse, elle nécessiterait :

- La mise en œuvre de réhabilitations très lourdes sur les habitations existantes afin de créer un système de chauffage collectif
- La mise en œuvre d'aides spécifiques à ces opérations (notamment dans le cas pertinent des ZDP avec le réseau à proximité immédiate de l'habitat)
- Intégrer cette solution dans les programmes ANRU
- Favoriser les permis de construire incluant des systèmes de chauffage collectif pour toutes les installations neuves
- Encourager le regroupement des particuliers dans les lotissements afin de rendre éventuellement possible le développement des réseaux de chaleur vers l'habitat individuel (action collective afin réduire les coûts d'investissement de développement du réseau)

C. Aspects sociaux

Les réseaux de chaleur desservant dans leur grande majorité des bailleurs sociaux, ils se doivent d'être exemplaires auprès de leurs usagers. Pour cela quelques pistes suivantes peuvent être envisagées.

1. Généraliser le principe de lutte contre la précarité énergétique pour les réseaux ENR&R

La loi Grenelle II N°2010-788 du 12 juillet 2010 définit comme étant en situation de précarité énergétique « une personne qui éprouve dans son logement des difficultés particulières à disposer de la fourniture d'énergie nécessaire à la satisfaction de ses besoins élémentaires en raison de l'inadaptation de ses ressources ou de ses conditions d'habitat. »

La précarité énergétique est la combinaison de trois facteurs :

- faibles revenus,
- mauvaise isolation des logements,
- augmentation du coût des énergies.

Ainsi, il a été mise en place par les pouvoirs publics une tarification sociale pour l'électricité (TPN) et le gaz naturel (TSS). Elles sont aujourd'hui obligatoires et leur attribution est automatique. Toutefois, la volonté politique est d'améliorer les solutions existantes pour le gaz et l'électricité, ainsi que d'étendre ces mécanismes aux autres utilités telles que la fourniture de chaleur via des réseaux de chaleur.

Les réseaux de chaleur ayant chacun leurs spécificités, la mise en place d'une politique de lutte contre la précarité énergétique se fait au cas par cas. La tarification sociale de la chaleur peut être soit de type « bonus-malus », soit avec la mise en place de Chèques Chauffage.

A titre d'exemple, cette dernière solution sera mise en place sur le futur réseau d'Arcueil-Gentilly. Le schéma envisagé (reproduit ci-après) fait intervenir les Centres Communaux d'Action Sociale d'Arcueil et de Gentilly (CCAS) pour des questions de gestion des candidatures et des paiements.

Les CCAS versent l'aide aux bailleurs (ou aux propriétaires éligibles) sous forme de paiement direct ; ce versement réduit à due proportion la créance que les bailleurs détiennent sur les occupants.

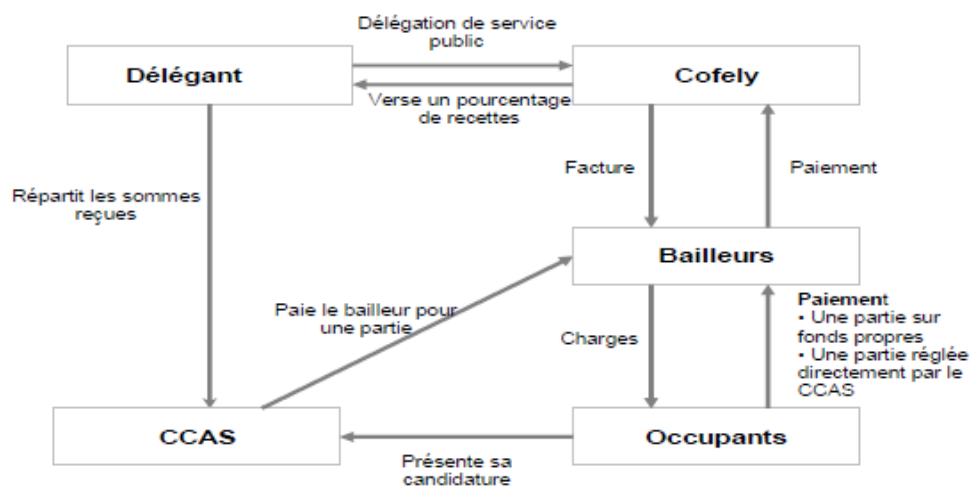


Figure 130 : Schéma de principe du dispositif de Chèque Chaleur sur le réseau d'Arcueil-Gentilly

D. Financier

Cette partie liste, les éléments qui peuvent être mis en œuvre afin de maintenir la compétitivité économique des réseaux de chaleur.

1. Conséquences potentielles du développement des pétroles et gaz des schistes

A l'heure actuelle où le débat du recours ou non aux pétroles et gaz de schiste n'est pas tranché en France, cette solution a été développée par plusieurs pays dans le Monde (Etats-Unis, Canada) et en Europe (Pologne). Ces choix énergétiques pèsent sur les marchés mondiaux de l'énergie et sont de nature à bouleverser les équilibres économiques actuels.

Dans le cas d'une hausse du coût des énergies primaire, la compétitivité des réseaux utilisant des ENR&R sera garantie. Dans le cas contraire, la compétitivité des réseaux sera réduite par rapport à une solution classique, rendant ainsi nécessaire le maintien d'un soutien économique.

Dans tous les cas, il conviendrait d'assurer des mécanismes contractuels sur le tarif payé par les abonnés afin de limiter l'influence d'une hausse des énergies fossiles et de leur faire profiter des baisses.

2. Contribution Climat Energie (CCE)

Fin août, le gouvernement français a annoncé la création d'une Contribution Climat Energie (CCE) proportionnelle aux émissions de CO₂. Pour le Gaz Naturel, cette CCE serait basée sur l'actuelle (TICGN : Taxe Intérieure sur la Consommation de Gaz Naturel) dont une partie serait assise sur les émissions de CO₂.

A l'heure actuelle (septembre 2013), il est prévu les niveaux suivants pour la tonne de CO₂ :

Année	2014	2015	2016
Prix de la tonne de CO ₂ (€/T)	7	14,5	22

En reprenant la méthode développée dans la partie d'analyse économique, et en considérant les contenus en CO₂ des réseaux de chaleur du Val-de-Marne, il peut être déterminé le surcoût que la mise en place de la CCE entrainerait sur la facture énergétique des usagers.

Bâtiment type « RT 2005 »	2014	2015	2016
Gaz Collectif	15,66	32,43	49,20
Gaz Collectif Condensation	12,81	26,54	40,27
Réseau A	0,50	1,03	1,56
Réseau B	3,08	6,39	9,69
Réseau C	3,14	6,50	9,86
Réseau D	2,59	5,36	8,13
Réseau E	3,08	6,39	9,69
Réseau F	1,38	2,85	4,33
Réseau G	4,63	9,58	14,54
Réseau H	4,68	9,69	14,71
Réseau I	4,13	8,55	12,98
Réseau J	6,77	14,03	21,29
Réseau K	5,51	11,41	17,30
Réseau L	11,07	22,93	34,78
Réseau M	5,23	10,84	16,44
Réseau N	13,48	27,93	42,37
Réseau O	8,93	18,49	28,05
Réseau P	14,67	30,39	46,10

Figure 131 : Impact de la CCE, en €TTC/an sur la facture énergétique des usagers, pour un bâtiment de type « RT 2005 »

Bâtiment type « Parc Social Moyen »	2014	2015	2016
Gaz Collectif	22,15	45,88	69,61
Gaz Collectif Condensation	18,15	37,61	57,06
Réseau A	0,71	1,47	2,24
Réseau B	4,43	9,18	13,92
Réseau C	4,51	9,34	14,17
Réseau D	3,72	7,70	11,68
Réseau E	4,43	9,18	13,92
Réseau F	1,98	4,10	6,22
Réseau G	6,64	13,76	20,88
Réseau H	6,72	13,93	21,13
Réseau I	5,93	12,29	18,65
Réseau J	9,73	20,15	30,58
Réseau K	7,91	16,39	24,86
Réseau L	15,90	32,94	49,97
Réseau M	7,52	15,57	23,62
Réseau N	19,37	40,12	60,88
Réseau O	12,82	26,56	40,30
Réseau P	21,07	43,65	66,23

Figure 132 : Impact de la CCE, en €TTC/an sur la facture énergétique des usagers, pour un bâtiment de type « Parc Social Moyen »

Bâtiment type « Peu Performant »	2014	2015	2016
Gaz Collectif	39,03	80,86	122,68
Gaz Collectif Condensation	32,04	66,36	100,69
Réseau A	1,27	2,64	4,01
Réseau B	7,93	16,43	24,93
Réseau C	8,07	16,72	25,37
Réseau D	6,66	13,79	20,92
Réseau E	7,93	16,43	24,93
Réseau F	3,54	7,33	11,13
Réseau G	11,90	24,64	37,39
Réseau H	12,04	24,94	37,83
Réseau I	10,62	22,00	33,38
Réseau J	17,42	36,08	54,75
Réseau K	14,16	29,34	44,51
Réseau L	28,47	58,96	89,46
Réseau M	13,45	27,87	42,28
Réseau N	34,68	71,83	108,99
Réseau O	22,96	47,56	72,15
Réseau P	37,73	78,15	118,58

Figure 133 : Impact de la CCE, en €TTC/an sur la facture énergétique des usagers, pour un bâtiment de type « Peu Performant »

Dans les 3 cas, la mise en place de la CCE renforce la compétitivité des réseaux de chaleur du Val-de-Marne, à l'exception des réseaux N et P. L'impact sur la facture énergétique payée par l'utilisateur reste modéré en 2014 (entre 1 et 23 €TTC) mais augmente rapidement en 2016 (entre 4 et 72 €TTC)

Pour les réseaux N et P, la mise en œuvre de cette CCE et son impact sur les factures des usagers : environ 45 €TTC en 2014 pour atteindre environ 110 €TTC, rendent en plus pertinent les démarches actuellement entreprises par ces réseaux pour intégrer des ENR&R dans leur bouquet énergétique.

3. Favoriser le regroupement de commandes, notamment pour les forages géothermiques

Pour les réseaux de géothermie, l'amortissement des investissements de 1^{er} établissement et les coûts d'entretien des doublets, pèsent de façon importante sur le coût de l'énergie payée par l'abonné. **L'idée serait donc de favoriser les groupements de commandes dans le domaine de la géothermie pour les opérations nouvelles et de réhabilitation.**

Cette démarche a récemment été réalisée par un opérateur énergétique avec à la clef une réduction d'environ 10% du prix unitaire des travaux. Cela s'explique notamment par le gain qu'a le foreur dans la gestion de sa machine de forage (planification sur une longue durée, mutualisation des fournitures pour plusieurs chantiers...)

La mise en œuvre de ce procédé pourrait être portée soit par un opérateur énergétique, soit par une entité publique. Celle-ci pourrait notamment prendre la gestion des puits existants et en assurer l'entretien, le renouvellement moyennant redevance forfaitaire ou proportionnelle en fonction de la quantité d'énergie géothermale prélevée dans la nappe par exemple.

3. Mise en perspective - Prospective

Compte-tenu de l'ensemble des éléments développés ci-dessus, à l'horizon 2020, l'état des réseaux de chaleur du Val-de-Marne serait le suivant :

- Création de 10 nouveaux réseaux :
 - Arcueil-Gentilly (finalisé, en cours de densification)
 - ZAC Confluence (en cours de développement, interconnexion réalisée avec les réseaux du centre-ville d'Ivry-sur-Seine)
 - ZAC Seine Gare, ZAC Gare des Ardoines (en cours de développement)
 - Eco-Quartier des Temps Durables (finalisé, en cours de densification)
 - Kremlin-Bicêtre, Charenton-le-Pont – Saint-Maurice, Champigny – 4 Cités, Bry-sur-Marne – Villiers-sur-Marne (finalisés, en cours de densification)
 - Boissy-Saint-Léger (finalisé)
- Développement des réseaux existants :
 - SEMHACH : augmentation de 120 000 MWh ; Fresnes : augmentation de 40 000 MWh ; Ivry-sur-Seine : augmentation de 30 000 MWh ; Choisy-Vitry : augmentation de 30 000 MWh
- Intégration de biogaz dans le mix énergétique des réseaux
- Pour les réseaux existants : compensation intégrale des opérations de réhabilitation de l'habitat par le développement du réseau vers des prospects présents à proximité immédiate.

Il en ressortirait que le bouquet énergétique des réseaux à horizon 2020/2025 serait le suivant :

Bouquet Énergétique Global des Réseaux de Chaleur du Val-de-Marne
(Estimation énergie à horizon 2020/2025)

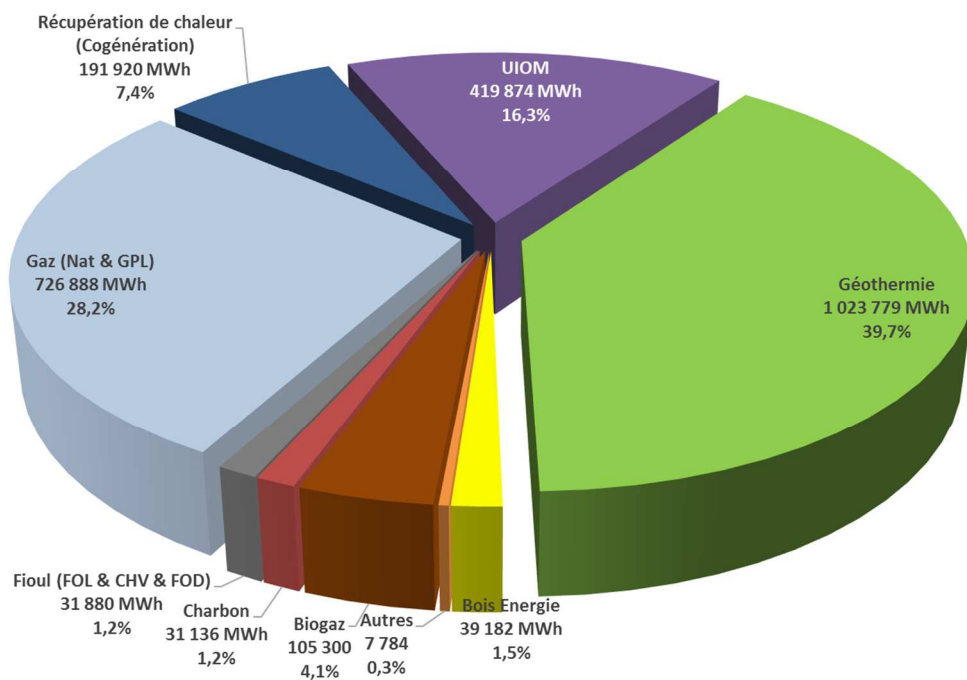
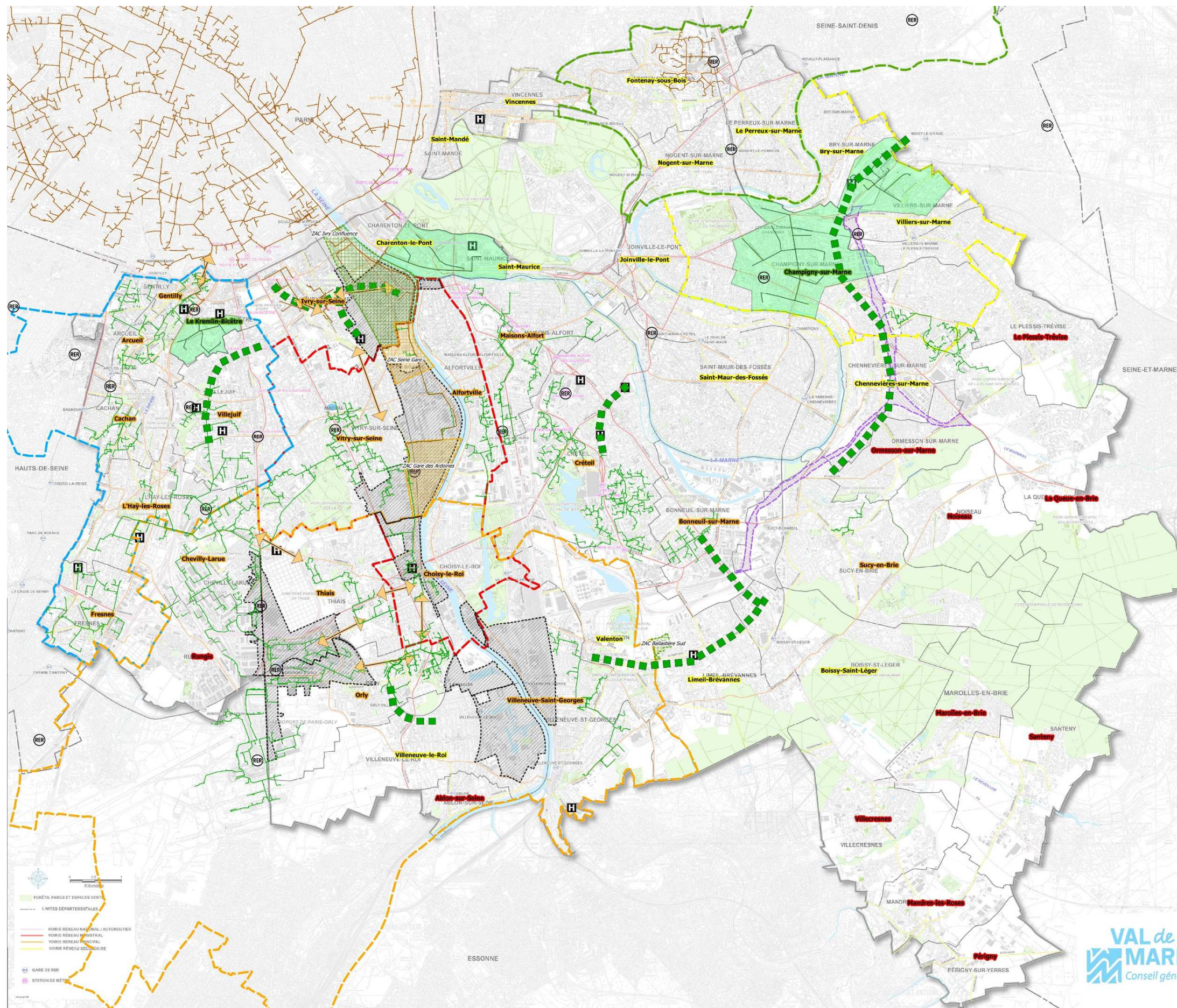


Figure 134 : Bouquet énergétique prévisionnel des réseaux de chaleur du Val-de-Marne à horizon 2020



- ### Prospective à horizon 2020
- Etiquettes Villes
 - Groupe 1 : « Villes ou groupements de villes où la réalisation d'une opération de géothermie est favorable ».
 - Groupe 2 : « Villes où la réalisation d'une opération de géothermie est envisageable dans le cadre d'études complémentaires ».
 - 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 ».
 - Groupe 4 : « Villes où les besoins en surface et/ou les ressources géothermiques (au Dogger) sont jugées insuffisantes dans le cadre de cette pré-étude ».
 - Contrats de Développement Territorial
 - Boucles de la Marne
 - Grand Orly
 - Grandes Ardennes
 - Paris Est entre Marne et Bois
 - Vallée Scientifique de la Bièvre
 - Périmètre de l'Opération d'Intérêt National
 - Emprise VDO
 - Gares prévues au Grand Paris Express
 - Hôpitaux
 - Réseaux de chaleur unifilaires du Val-de-Marne
 - Avec + de 50 % d'ENR&R
 - Entre 0 et 50 % d'ENR&R
 - Sans ENR
 - Interconnexions Potentielles entre Réseaux de Chaleur
 - Zones de développement des réseaux à moyen terme
 - Projet en cours de réalisation
 - Projet en cours de réflexion
 - Axes de développement des Réseaux de Chaleur
 - Zones de développement des réseaux identifiés dans le Groupe 1
 - Réseaux identifiés dans le Groupe 1

Septembre 2013

Réalisation :

VAL de MARNE
Conseil général

CONCLUSION

Le département du Val-de-Marne est étroitement lié au développement de la géothermie profonde depuis les années 70. Les opérations actuellement en exploitation constituent des références solides dans ce domaine et l'expérience accumulée doit être valorisée.

Aujourd'hui, les réseaux géothermiques du Val-de-Marne ont d'indéniables atouts faire valoir dans le contexte actuel :

- Ils permettent d'alimenter environ plusieurs milliers d'équivalent-logements en énergies renouvelables ;
- Ils sont compétitifs d'un point de vue économique avec les solutions de production de chaleur à base d'énergies fossiles ;
- Ils ont impact environnemental faible sur leur environnement.

Avec ces atouts, la géothermie profonde et les réseaux associés, doivent jouer un rôle majeur dans la mutation urbanistique qui se prépare à très court terme sur le territoire du Val-de-Marne. En effet, d'importantes opérations d'aménagement vont voir le jour sur l'Opération d'Intérêt National, sur la reconversion de l'ex-VDO, le Grand Paris Express, la programmation urbaine concertée à l'échelle intercommunale... Ces opérations sont autant de chances pour développer de nouveaux réseaux dans les secteurs actuellement non pourvus et une opportunité pour optimiser les réseaux existants (densification, extension, meilleure valorisation de la ressource géothermale par cascade de température).

Ainsi, il semble important que, dès à présent, des dispositions soient prises pour que ces nouvelles opérations d'aménagement soient pensées pour la géothermie (obligation de raccordement, mise en place d'émetteurs basse température, cascade de température sur les réseaux...) avec la mise en place d'une politique volontariste.

Ces enjeux, certes importants, sur les nouvelles opérations urbanistiques ne doivent pas masquer les enjeux des réseaux existants. En effet, ceux-ci seront amenés à connaître un développement important de part : leur attractivité économique (potentiellement renforcée par une contribution climat énergie) et la nécessité de développer le recours aux énergies renouvelables vers les bâtiments. C'est ainsi que la question de la gestion de la ressource géothermale sera amenée à être développée au cours des prochaines années.

Des études sont actuellement menées par l'ADEME afin de connaître l'évolution du réservoir du Dogger, suite à l'apparition des bulles froides de certains doublets et afin de prévoir une potentielle saturation de cette nappe à l'ouest du département. Les conclusions de cet études devraient servir de référence pour la délivrance des prochains permis de recherche sur le territoire du Val-de-Marne notamment dans le cadre des réhabilitations de forages. Toutefois, cette évolution doit également s'accompagner d'opérations nouvelles de recherche afin d'assurer la continuité de l'exploitation géothermale à très long terme. Ces opérations nouvelles de développement de la géothermie sont connues : exploitation de réservoirs alternatifs (Lusitanien, Trias), tests de stockage d'énergie (Géostocal à Ivry-sur-Seine)... et doivent être mis en œuvre dans un futur proche afin de bénéficier d'un retour d'expérience.

Dans le cadre de cette étude, il a été montré que 2 communes (Champigny-sur-Marne et le Kremlin-Bicêtre) et 2 groupements de communes (Charenton-le-Pont / Saint-Maurice et Bry-sur-Marne / Villiers-sur-Marne) aurait, dès aujourd'hui, l'opportunité de développer un réseau de chaleur à base géothermale sur leur territoire. D'importantes potentialités existeraient également pour les communes situées au Nord de la Marne (Vincennes et Saint-Maur-des-Fossés) mais ce potentiel est actuellement difficilement accessible car très diffus. Par contre, pour certaines communes, notamment au Sud-Est du département, l'accès à la ressource géothermale ne sera pas réalisable en raison d'un manque de besoins de chaleur en surface mais celles-ci pourront faire appel, ponctuellement, à des solutions de géothermie peu profonde ou d'autres énergies renouvelables.

En tout état de cause, le Val-de-Marne, à horizon 2020, devrait conserver son avance dans le domaine de la valorisation de la ressource géothermale. Cette énergie devrait rester la principale utilisée par les réseaux de chaleur du département et serait amenée à augmenter d'environ 50 % en volume et devrait fournir environ 200 000 équivalent-logements sur le territoire.

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 : Abréviations 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 ^{3/8}	32 cm
10 ^{3/4}	25 cm
9 ^{5/8}	22 cm
7"	16 cm

Figure 135 : 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, ...).

ANNEXE : RESSOURCE GEOTHERMIQUE MOBILISABLE ET TAUX DE RECUPERATION DE LA CHALEUR EN PLACE

La quantification de la ressource met en jeu les volumes de réservoirs pour des structures, monocouche et multicouche équivalentes, ainsi que les propriétés hydrothermiques de la roche et du fluide conformément à la séquence développée dans le tableau récapitulatif 1. Ils permettent de définir l'efficacité du schéma minier dont dépendra le taux de récupération de la chaleur en place, exercice traduit par l'abaque représenté en figure 1.

Le schéma minier le plus fréquemment utilisé du doublet (et également du triplet) géothermique fait intervenir le débit exploitable et la durée de vie thermique définis par les relations suivantes :

$$Q = f(\Delta p)$$

$$\Delta p = f[kh, \mu, \Phi, \rho, C_t, S, d, r_w, r_c, l_c]$$

$$t_B = \frac{\pi \gamma_t d^2 h}{3 \gamma_f Q}$$

où :

Q	=	Débit (m ³ /h)
Δp	=	Baisse (production)/accroissement (injection) de pression (bar)
t_B	=	Temps de percée du doublet (ans)
k	=	Perméabilité intrinsèque (darcy)
h	=	Epaisseur réservoir nette (m)
kh	=	Transmissivité intrinsèque (darcy mètre)
d	=	Espacement du doublet (impacts réservoir) (m)
r_w	=	Rayon du puits (m)
r_c	=	Rayon(s) du (des) tubage(s) (m)
c_t	=	Compressibilité totale (bar ⁻¹)

$l_c =$	Longueur phase tubée (m)
$S =$	Coefficient d'effet pariétal
$\emptyset =$	Porosité effective
$\mu =$	Viscosité dynamique (c_p)
$\rho =$	Masse volumique (kg m^{-3})
$\gamma_f, \gamma_r, \gamma_t =$	Capacités calorifiques du fluide, de la roche et totale ($\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$)

D'un point de vue physique autant que pratique on adoptera les valeurs seuils suivantes :

$\Delta p \leq 40$	bar (production, injection)
$kh \geq 10$	darcy mètres
$r_c \geq 110 \text{ mm}$	(# 9"5/8)
$d \geq 1000 \text{ m}$	
$t_B \geq 20 \text{ ans}$	(baisse de température tolérable 0,10 ΔT)

Compte tenu des caractéristiques du réservoir géothermal (Dogger) cartographiées sur le département, les débits nominaux exploitables seraient compris dans la fourchette 250-350 m^3/h sous réserve d'une complétion appropriée, susceptible d'être étendue à 400 m^3/h pour des ouvrages à trajectoires sub-horizontales.

Un autre élément à prendre en considération, dans l'amélioration du taux de récupération de la chaleur en place, concerne l'abaissement de la température d'injection (à 25°C, seuil jugé réaliste) qui met en jeu des pompes à chaleur (PAC) à hautes puissances (de 10 à 15 MW_t) et une technologie avancée (compresseurs centrifuges).

Tableau 1 : Extraction de la chaleur géothermale. Rappel des équations de base

A. Réservoir monocouche

- **Chaleur en place**

(1) $G = \gamma_t(T_o - T_e)Ah$

où

$\gamma_t = \Phi\gamma_f + (1 - \Phi)\gamma_r$ = Capacité calorifique totale

γ_f = Capacité calorifique du fluide ($Jm^{-3} K^{-1}$)

γ_r = Capacité calorifique de la roche ($Jm^{-3} K^{-1}$)

Φ = Porosité

(2) A = Surface (m^2)

h = Epaisseur réservoir (m)

T_o = Température géothermale ($^{\circ}C$)

T_e = Température extérieure moyenne de référence ($^{\circ}C$)

- **Capacité productive du puits**

(3) $W = Q\gamma_f(T_o - T_r) = Q\gamma_f\Delta T$

où Q = Débits ($m^3 s^{-1}$)

T_r = Température de retour ($^{\circ}C$)

ΔT = Différentiel de température production-(re)injection ($^{\circ}C$)

- **Chaleur récupérable**

(4) $H = \eta\gamma_t(T_o - T_r)Ah$

où η = Efficacité du schéma minier sur la durée de production t_p

- **Taux de récupération de la chaleur en place**

(5) $R = \frac{H}{G} = \eta \frac{T_o - T_r}{T_o - T_e}$

- **Efficacité du schéma minier**

(6) $H = Wt_p$

soit :

(7) $\eta = \frac{Q}{Ah} \frac{\gamma_f}{\gamma_t} t_p$

B. Réservoir multicouche équivalent (structure *sandwich*)

- Chaleur en place

(1') $G = A[\gamma_t h_1 + \gamma_r h_2](T_o - T_e)$

où

(2') h_1 = épaisseur réservoir cumulée

h_2 = épaisseur éponte cumulée

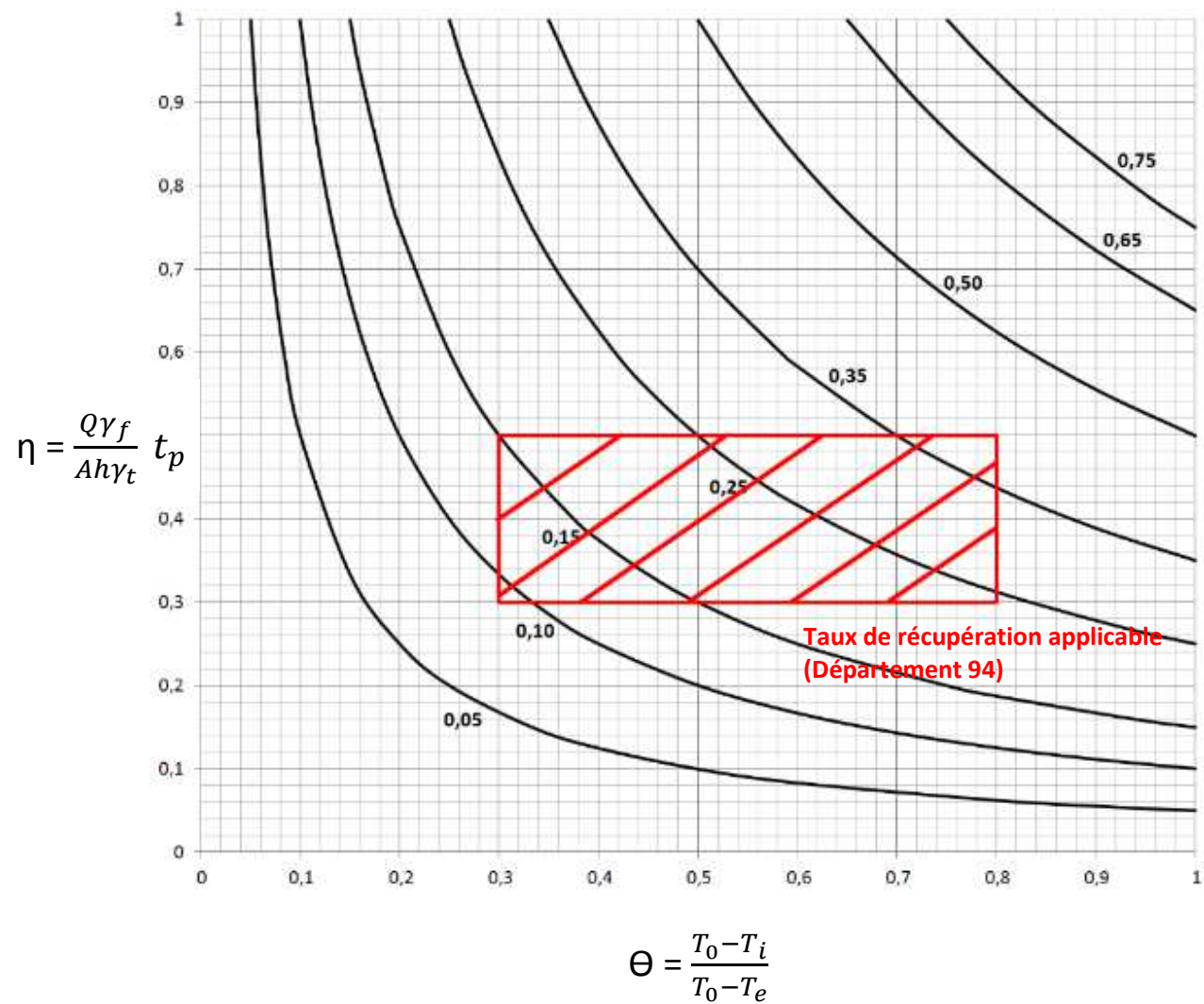
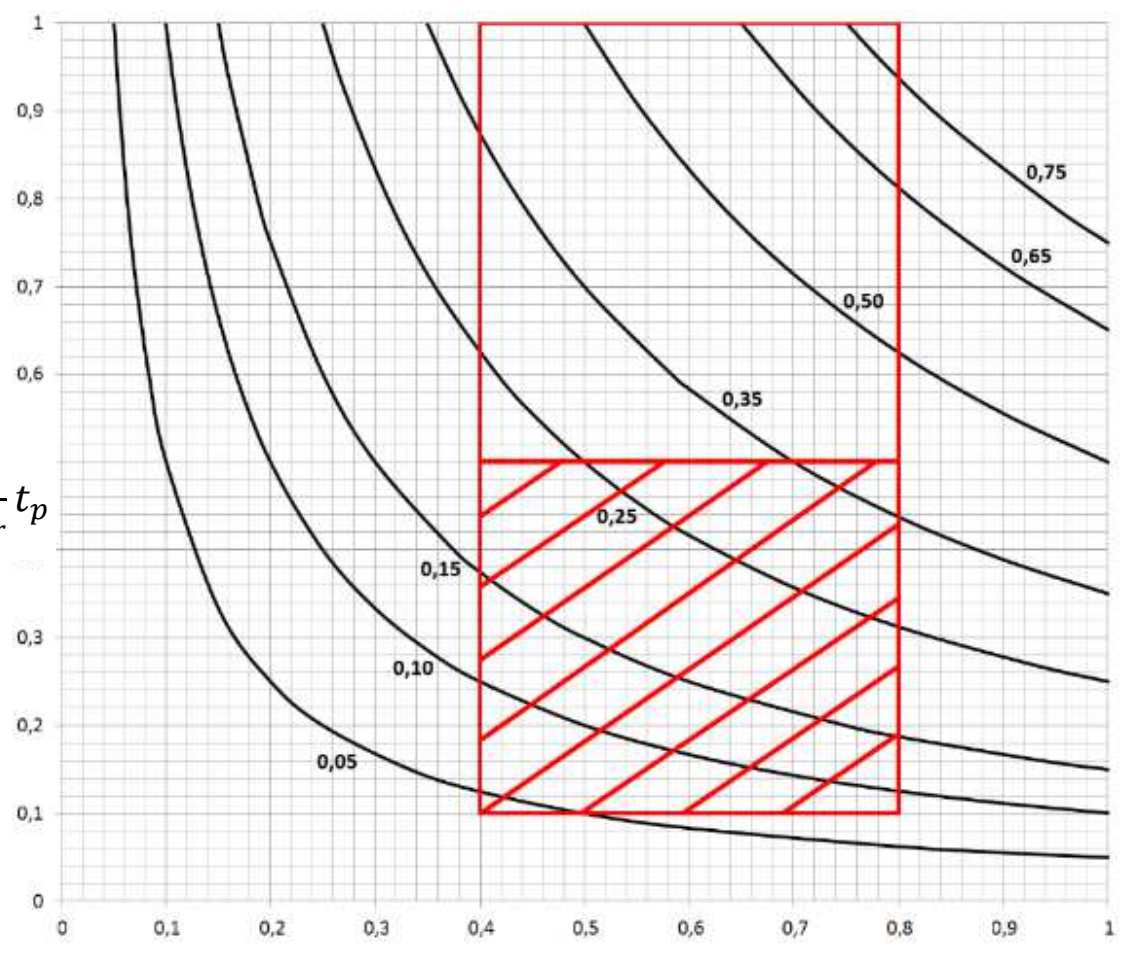


Figure 1 : Taux de récupération de la chaleur en place (réservoir monocouche). Durée d'exploitation 30 ans. Surface utile : 10 km²

$$\eta = \frac{Q}{A} \frac{\gamma_f}{h_1\gamma_t + h_2\gamma_r} t_p$$



- Domaine théorique
- Domaine alloué 94

$$\Theta = \frac{T_0 - T_i}{T_0 - T_e}$$

Figure 2 : Taux de récupération de la chaleur en place (réservoir multicouche équivalent sandwich). Durée d'exploitation 30 ans.

Les conclusions retirées de l'interprétation, au sens des taux de récupération cibles, des jeux d'hyperboles $R = \eta\theta$ des figures 1 et 2 procèdent d'une vision statique de l'exploitation. De ce point de vue elles gagneraient à être pondérées par les durées de vie thermiques exprimées à travers les temps de percée thermiques t_B . En effet, à quoi bon atteindre un taux de récupération élevé s'il est réalisé au prix d'un épuisement thermique prématuré, inférieur en tout état de cause à la durée de vie (25-30 ans) impartie à l'exploitation du doublet, de la ressource.

Cela étant, le temps de percée dans la représentation monocouche équivalente est restrictif et ne s'est jamais vérifiée en pratique. Il convient par conséquent de lui substituer une formulation qui prenne en compte l'apport calorifique des épontes, particulièrement du cumul des épontes intercalaires. La formulation proposée est la suivante :

$$(8) \quad t_B^*(\text{ans}) = \frac{\pi (\gamma_t h_1 + \gamma_r h_2) d^2 (h_1 + h_2)}{3 \gamma_f h_1 Q}$$

La figure 3 est une illustration graphique du facteur d'amplification de cette formulation.

Son application aboutit à des estimations plus réalistes au vu des résultats consignés dans le tableau 2, établi à partir d'une sélection exhaustive des sites du Val de Marne.

On observera à cet égard le résultat du site 94.1, emprunté au doublet d'Alfortville dont la percée calculée de 22 ans correspond très précisément à celle constatée *in situ* [cf. Lebrun et al, (2011)].

L'impact sur les taux de récupération des paramètres sensibles peut être mesuré dans le tableau 3. L'exploitation conjointe des tableaux 2 et 3 constitue indubitablement un critère de sélection du débit d'exploitation nominal qui, en tout état de cause, doit satisfaire au critère d'un temps de percée aussi proche que possible de la durée physique espérée des infrastructures minières. L'exemple d'Alfortville permet de défendre et d'illustrer une telle médiation.

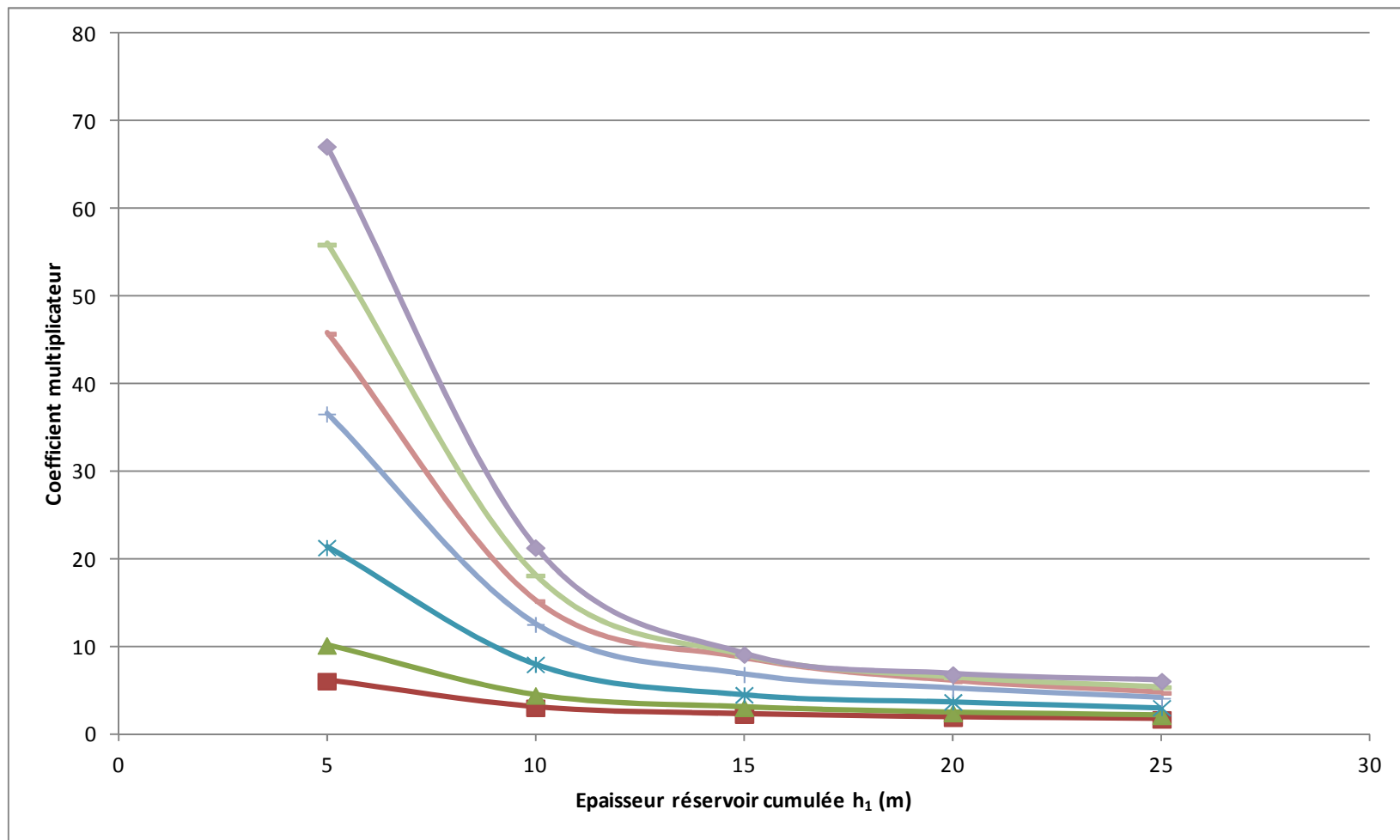


Figure 3 : Coefficient multiplicateur du temps de percée thermique (α) pour un réservoir multicouche. Paramètres : épaisseurs cumulée des couches perméables (h_1) et des épontes intercalaires (h_2)

Tableau 2 : Sélection de sites et de temps de percées thermiques

Site	h_1 (m) ⁽¹⁾	h_2 (m) ⁽²⁾	Q (m ³ /h)	t_B (ans) ⁽⁴⁾	t^*_B (ans) ⁽⁵⁾
94.1	9	9	180	5,8	22
94.2	23	27	180	16	72
94.3	6,5	34	190	4	144
94.4	12	7	110	16	26
94.5	12	12	190	7,5	28
94.6	26	36	180	17	89
94.7	8	17	180	4,7	45
94.8	18	35	200	9,7	80
94.9	15	4	180	9,4	15
94.10	11	25	120	7,6	88
94.11	19	47	240	8,1	86
94.12	25	15	200	15	36

(1) épaisseur (m) réservoir simulée

(2) épaisseur (m) épontes intercalaires cumulée

(3) débit moyen annuel

(4) temps de percée thermique, réservoir monocouche équivalent (ans)

(5) temps de percée thermique, réservoir multicouche équivalent *sandwich* (ans)

Tableau 3 : Sélection de taux de récupération de la chaleur en place

Item Site ^(*)	h ¹ (m)	h ² (m)	Q (m ³ /h)	T _o (°C)	T _i (°C)	ϑ	η	R
94.1	9	9	180	75	40	0,56	0,48	0,27
					25	0,79		0,38
94.2	23	27	180	75	40	0,56	0,17	0,10
					25	0,79		0,13
94.3	12	7	110	67	40	0,49	0,27	0,13
					25	0,76		0,21
94.4	26	36	180	76	40	0,56	0,14	0,08
					25	0,80		0,11
94.6	15	4	180	76	40	0,56	0,43	0,24
					25	0,80		0,34
94.9	19	47	240	78	40	0,58	0,18	0,10
					25	0,80		0,14
94.10	6,5	34	190	74	40	0,55	0,24	0,13
					25	0,89		0,19
94.11	11	25	120	65	15 ^(**)	0,94	0,13	0,12
					25	0,75		0,10

(*) cf. Tableau 2

(**) Source froide superficielle (dérivation cours d'eau)

ANNEXE : BIBLIOGRAPHIE

Hamm V., Le Brun M., Castillo C., Ausseur J., Borozdina O., Cordier E., Gille A., Goblet P., Ungemach P. (2011) - Gestion de la ressource géothermique du Dogger de la région Ile-de- France – Année 2011. Rapport intermédiaire. BRGM. (technical report RP-60399-FR).

Lopez S., Hamm V., Le Brun M., Schaper L., Boissier F., Cotiche C., Giuglaris E. (2010) – 40 years of Dogger Aquifer management in Ile-de-France, Paris Basin, France; Sustainable utilization of geothermal energy. *Geothermics*, 39, 4 p. 339-356.

Lopez S., Hamm V., Goyeneche O. (2012) - Optimal and sustainable use of the Dogger aquifer geothermal resource: long-term management and new technologies; The 53rd Scandinavian Conference on Simulation and Modelling, 2012, Reykjavik, Iceland.

Lesueur H. - Projet GEOSTOCAL Appel à projets Stock-E-2007, (2012), Colloque Energies 2012, Agence Nationale de la Recherche

ANNEXE : ATLAS DEPARTEMENTAL
