



# DEMANDE D'AUTORISATION DE RECHERCHE D'UN GÎTE GÉOTHERMIQUE AU DOGGER

---

## DEMANDE D'AUTORISATION D'OUVERTURE DE TRAVAUX DE FORAGE (DOUBLET)



# QUALITE

Référence : GDCE15077\_PERDOTEX\_V2

Rédacteur	Vérificateur
Mélanie DAVAUX 	Pierre UNGEMACH 

# REVISION

Indice	Date	Chapitre concerné	Modification
v2	15/02/2016	1	1.5
v3			
v4			

# CLIENT

Monsieur Patrick DOUET  
SETBO  
HOTEL DE VILLE  
BP N°194381  
BONNEUIL-SUR-MARNE CEDEX  
Tél. : 01 49 80 39 36

# DIFFUSION

Le syndicat mixte SETBO

## RÉSUMÉ

Le dossier ici présenté (acronyme PER-DOTEX) a été établi conformément aux Codes Minier et de l'Environnement. Ces demandes sont déposées par le SETBO, syndicat pour la production et la distribution de la chaleur pour la ville de Bonneuil-sur-Marne. Il comprend :

- Une demande concernant l'attribution d'un permis de recherche d'un gîte géothermique à basse enthalpie (température inférieure à 150°C), objectif Dogger (Jurassique moyen), dans l'emprise d'un périmètre couvrant tout ou partie des communes de Bonneuil-sur-Marne, Boissy-Saint-Léger, Limeil-Brévannes, Sucy-en-Brie et Créteil
- Une demande d'ouverture de travaux de forage/complétion en matériaux composites d'un puits géothermique au Dogger à trajectoire déviée. Cet ouvrage, ci-nommé GBL-4, servira de nouvel ouvrage producteur en lieu et place du puits GBL-1ST.
  - Le puits GBL-1ST réalisé en 2009 est le *sidetrack* du puits GBL-1 (foré en 1985), il présente une usure prématurée et nécessite un abandon. (cf. Annexe 2 : CR de réunion du 24 Septembre 2014 à la DRIEE)
  - Les eaux géothermiques refroidies après échange de chaleur continueront à être réinjectées dans le puits injecteur GBL-3 foré en 2012 (Cf. Annexe 9) en remplacement du puits GBL-2 (datant de 1985).

L'emplacement du doublet est situé sur la commune de Bonneuil-sur-Marne dans l'enceinte du SETBO délimitée par la rue Gabriel Péri et l'avenue Bouglione. Les puits en service actuellement (GBL-1ST producteur et GBL-3 injecteur) assurent, avec le réseau de distribution de 5,5 km qui alimentent 42 sous-stations, une partie des besoins de chaleur de 4300 équivalents logements. La mixité de la production énergétique actuelle est 75,61 % géothermie (1 doublet) et 24,39 % gaz (2 chaudières).

L'arrêté n°2014/6325 du 24 juillet 2014 autorise le syndicat mixte pour la production et la distribution de chaleur à Bonneuil-sur-Marne (SETBO) à poursuivre l'exploitation du gîte géothermique à basse température du Dogger jusqu'au 15 janvier 2028 (Cf. Annexe 1)

La démarche présentée dans ce rapport traduit la volonté du SETBO de (i) pérenniser l'exploitation existante, (ii) d'accroître la production géothermale nominale, (iii) de garantir les conditions de confort de ses abonnés à des tarifs compétitifs, et (iv) de maîtriser ses dépenses de fonctionnement.

L'architecture du futur puits GBL-4 devra répondre à des exigences fortes de sollicitation de la ressource dans le département du Val-de-Marne, d'urbanisation ainsi qu'à des contraintes environnementales et techniques élevées, dues en partie aux eaux du Dogger de type chloruré sodique avec une salinité de l'ordre de  $27 \pm 1$  g/l qui leur confère un caractère corrosif. Des facteurs aggravants de la corrosion, telles que l'activité bactérienne ou la teneur en sulfures, sont également connus dans cet aquifère.

En conséquence la réalisation du puits GBL-4 anticorrosion à tubages de soutènement en acier et colonne de production mixte en matériaux composites, présente un caractère résolument innovant qui permettra de limiter le traitement en fond de puits et les pertes de charge à travers les tubages.

Les forages existants et les simulations géostatistiques ont permis de caractériser le réservoir du Dogger au droit de Bonneuil-sur-Marne ; la température attendue est proche de 79°C et le débit maximal escompté de 240 m<sup>3</sup>/h et permettra d'assurer une production géothermique couvrant 75% des besoins énergétique de la commune de Bonneuil-sur-Marne.

L'impact au toit du réservoir objectif de la trajectoire projetée du puits GBL-4 est compatible avec les emprises des gélules réglementaires des permis miniers de Créteil, Sucy-en-Brie, et Villeneuve-Saint-Georges, ouvrages voisins situés à moins de 3 km du doublet de Bonneuil-sur-Marne. D'après les simulations hydrothermiques des différents scénarii d'exploitation, le doublet futur n'engendrera pas d'interférences hydrothermiques sensibles sur les exploitations proches. De plus, la position du nouvel impact au toit du réservoir du puits producteur en direction de l'ouest, permettra de s'éloigner de la bulle froide générée par GBL-2 durant les 30 ans écoulés et par GBL-3 depuis 2014, tout en bénéficiant des caractéristiques hydrogéologiques du réservoir (épaisseur cumulée des niveaux producteurs, porosité et perméabilité) optimales. Par ailleurs le périmètre de recherche demandé est identique à celui accordé par l'arrêté préfectoral AP N°2012/1265 du 18/04/2012 pour le forage du puits d'injection GBL-3.

Pour conserver le caractère vertueux des opérations de géothermie, une attention particulière sera apportée pour réduire l'impact durant des travaux (nuisance sonores, routières, protection de l'environnement...) et assurer la réhabilitation du site pour l'exploitation. Dans cette optique les programmes de surveillance des puits seront détaillés de manière à s'assurer de l'isolement des différents niveaux réservoirs et éviter toute pollution ascendante ou descendante des aquifères et de la surface.

Enfin, au-delà des économies substantielles réalisées au niveau des émissions atmosphériques de gaz à effet de serre qui auront un impact bénéfique sur la santé de la population, l'analyse de rentabilité présentée dans ce dossier démontre la pertinence économique du projet.

# SOMMAIRE

1.	INFORMATIONS GÉNÉRALES.....	17
1.1.	<i>Justification de la demande et du projet.....</i>	<i>17</i>
1.1.1.	Objet de la demande .....	17
1.1.2.	Contenu du dossier .....	18
1.1.3.	Pertinence du projet.....	20
1.2.	<i>Qualité du demandeur .....</i>	<i>20</i>
1.2.1.	Fiche d'identité du demandeur .....	20
1.2.2.	Justification des capacités techniques et financières du demandeur.....	21
1.2.2.1.	Le maître d'ouvrage .....	21
1.2.2.2.	La maîtrise d'œuvre.....	22
1.3.	<i>Contexte et description du projet de valorisation de la ressource .....</i>	<i>23</i>
1.3.1.	Situation actuelle .....	23
1.3.2.	Description sommaire de l'opération projetée.....	24
1.4.	<i>Budget prévisionnel et plan de financement du projet .....</i>	<i>24</i>
1.4.1.	Coûts d'investissement sous-sol (CAPEX) .....	24
1.4.1.1.	Travaux de forage du producteur GBL-4 .....	24
1.4.1.2.	Conception du nouveau puits producteur GBL-4.....	25
1.4.2.	Puits injecteur GBL-3.....	26
1.4.3.	Abandon du puits injecteur GBL-1ST.....	28
1.4.4.	Estimation du CAPEX de surface et de la boucle géothermale.....	28
1.4.5.	Coûts d'exploitation du doublet géothermique (OPEX).....	28
	Les charges P1 (consommation de fluides) :.....	29
	Les charges P2 (conduite, suivi et petit entretien) .....	29
	Les charges P3 (gros entretien et de renouvellement des équipements de la boucle géothermale) .....	30
1.4.6.	Plan de financement .....	31
1.5.	<i>Financement du projet et garanties.....</i>	<i>31</i>
1.5.1.	Subventions pouvant être accordées par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), la Région Ile de France et le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER).....	31
1.5.1.1.	Subventions à la réalisation – Fonds Chaleur.....	31
1.5.1.2.	Fonds de garantie géothermie.....	32
1.5.2.	Analyse de rentabilité .....	33
1.6.	<i>Planning prévisionnel du projet.....</i>	<i>34</i>
1.7.	<i>Conditions réglementaires d'accès à la ressource.....</i>	<i>34</i>

1.7.1.	Permis de recherche minier et permis d'exploitation .....	35
1.7.2.	Demande d'ouverture de travaux miniers .....	36
1.7.3.	Permis d'exploitation existants et périmètres concernés .....	36
1.7.4.	Durée relative à la demande formulée .....	38
1.7.5.	Permis d'exploitation envisagé suite à la recherche .....	38
1.7.6.	Contraintes liées au SDAGE Seine-Normandie et à la protection de l'aquifère de l'Albien/Néocomien .....	38
1.8.	<i>Identification des risques et contraintes techniques et organisationnelles applicables au projet</i> 39	
1.8.1.	Les contraintes techniques et réglementaires .....	39
1.8.1.1.	Les contraintes en surface .....	39
1.8.1.2.	Les contraintes de conception .....	40
1.8.1.3.	Les risques liés au forage .....	40
1.8.2.	Le risque géologique .....	41
1.8.2.1.	Les contraintes liées à l'existant et à l'historique d'exploitation .....	41
1.8.2.2.	Les risques hydrogéologiques .....	41
1.8.3.	Les contraintes d'organisation et de planification .....	41
1.8.4.	Les contraintes de chantier .....	42
2.	Demande d'autorisation de recherche d'un gîte géothermique au Dogger .....	43
2.1.	<i>Localisation du secteur d'étude</i> .....	43
2.2.	<i>Sollicitations actuelles de l'aquifère du Dogger dans les environs du secteur d'étude et emprise prévisionnelle du projet</i> .....	44
2.2.1.	Sollicitations actuelles de l'aquifère du Dogger dans les environs du secteur d'étude .	44
2.2.2.	Définition du périmètre du permis de recherche d'un gîte géothermique au Dogger ...	45
2.3.	<i>Contextes géologique et hydrogéologique</i> .....	47
2.3.1.	Contexte géologique global .....	47
2.3.2.	Contexte géologique du secteur d'étude.....	50
2.3.2.1.	Contexte structural et géologique.....	50
2.3.2.2.	Coupe géologique prévisionnelle au droit du secteur d'étude.....	50
2.3.3.	Contexte hydrogéologique du secteur d'étude .....	51
2.3.3.1.	Aquifères rencontrés par le forage : du Quaternaire à l'Albien /Néocomien .....	52
2.3.3.2.	Aquifère du Dogger .....	53
2.4.	<i>Modélisation hydraulique et thermique du réservoir</i> .....	58
2.4.1.	Domaines simulés.....	60
2.4.2.	Modèle thermo-hydrogéologique .....	61
2.4.2.1.	Modèle conceptuel.....	61
2.4.2.2.	Hypothèses de modélisation .....	61
2.4.2.3.	Paramètres hydrodynamiques et thermiques .....	61

2.4.2.4.	Modélisation thermique (2015-2045) et historique d'exploitation (1985-2014).....	63
2.4.3.	Résultats des simulations : cinétique de refroidissement et impact hydraulique du doublet futur GBL-4/GBL-3 (2015-2045) .....	65
2.5.	<i>Synthèse de l'étude hydrogéologique et de la modélisation du réservoir</i> .....	69
2.6.	<i>Débit, volume et périmètre d'exploitation prévisionnels</i> .....	70
2.6.1.	Débits d'exploitation envisagés.....	70
2.6.2.	Volume et périmètre d'exploitation.....	70
2.6.2.1.	Définition.....	70
2.6.2.2.	Représentation graphique .....	71
2.6.2.3.	Définition du volume d'exploitation .....	72
2.7.	<i>Dispositifs de mobilisation de la ressource</i> .....	73
2.7.1.	Généralités.....	73
2.7.1.1.	Introduction .....	73
2.7.1.2.	Emprise au sol des travaux de forage et aménagement de la plateforme .....	73
2.7.2.	Description sommaire de l'ouvrage du sous-sol projeté et coupe technique prévisionnelle .....	74
2.7.2.1.	Profil et coupe technique prévisionnelle .....	74
2.7.3.	Description et fonctionnement de la boucle géothermale du projet de Bonneuil-sur-Marne	76
2.7.3.1.	Généralités.....	76
2.7.3.2.	Les équipements de complétion .....	76
2.7.4.	Contraintes liées au fluide .....	78
2.7.4.1.	Corrosion.....	78
2.7.4.2.	Risque de dépôts.....	78
2.7.4.3.	Filtration .....	78
2.8.	<i>Modification de surface pour fonctionner en doublet à un débit géothermal de 240 m<sup>3</sup>/h</i> .....	79
2.8.1.	Bilan de l'existant.....	79
2.8.1.1.	Outils de production .....	79
2.8.1.2.	Mixité énergétique.....	81
2.8.2.	Réseau de chaleur .....	81
2.8.2.1.	Organisation et régimes de fonctionnement .....	81
2.8.2.2.	Simulations.....	83
2.9.	<i>Contrôles périodiques et suivi de l'exploitation</i> .....	83
2.9.1.	Contrôle périodique de la ressource .....	83
2.9.2.	Installations et équipements .....	84
2.9.3.	Etat des tubages .....	84
2.9.3.1.	Principe des diagraphies différées .....	84
2.9.3.2.	Test d'étanchéité par la méthode de traçage à l'eau douce .....	84

2.9.4.	Le fluide géothermale : caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau	85
2.9.5.	Indicateurs de corrosion et traitement anticorrosion .....	86
2.10.	<i>Conditions d'arrêt d'exploitation du gite géothermique</i> .....	86
2.10.1.	Protection des aquifères superficiels .....	87
2.10.2.	Coûts estimatifs des travaux d'abandon .....	87
2.11.	<i>Résumé de l'étude d'impact sur l'environnement</i> .....	87
2.11.1.	Impacts en cours de travaux .....	88
2.11.2.	Impacts en cours d'exploitation.....	88
3.	Demande D'autorisation d'ouverture de travaux de forage (Puits de production).....	90
3.1.	<i>Mémoire exposant les caractéristiques principales des travaux prévus pour la réalisation du puits GBL-4</i> .....	90
3.1.1.	Fiche résumé des travaux prévus pour la réalisation du puits GBL-4 .....	90
3.1.2.	Implantation du nouveau forage GBL-4.....	91
3.1.3.	Travaux d'aménagement pour la réalisation du puits GBL-4 .....	92
3.1.4.	Travaux de forage du puits GBL-4 anti-corrosion .....	93
3.1.4.1.	Introduction - rappel historique .....	93
3.1.4.2.	Concept de puits anticorrosion .....	93
3.1.4.3.	Travaux préparatoires.....	95
3.1.4.4.	Profils des puits et coupes géologiques et techniques prévisionnelles .....	95
3.1.4.5.	Programme de forage/complétion du puits GBL-4 et programme de boue.....	96
3.1.4.1.	Programme de diagraphies et test BOP .....	108
3.1.4.2.	Programme des essais de production.....	109
3.1.4.3.	Programme d'échantillonnage des déblais .....	110
3.1.4.4.	Durée prévisionnelle des travaux .....	110
3.1.5.	Remise en état du site .....	110
3.2.	<i>Programme D'abandon du puits GBL-1ST</i> .....	111
3.3.	<i>Etat du puits Injecteur GBL-3</i> .....	111
3.4.	<i>Courbe caractéristique prévisionnelle de GBL-4</i> .....	111
3.5.	<i>Courbe caractéristique GBL-3</i> .....	113
3.6.	<i>Fonctionnement du doublet</i> .....	113
3.6.1.	Mode de fonctionnement été (production ECS uniquement) .....	114
3.6.2.	Mode de fonctionnement hiver et mi-saison (chauffage et production ECS).....	114
3.7.	<i>Paramètres de fonctionnement du doublet</i> .....	114
3.8.	<i>Descriptif des équipements constitutifs de la boucle géothermale</i> .....	115
3.9.	<i>Exposé des méthodes de forages envisagées</i> .....	117
3.9.1.	Principe et méthodologie des travaux de forage.....	117
3.9.1.1.	Mise en place du tube guide .....	117

3.9.1.2.	Le forage « rotary » .....	117
3.9.2.	Matériel mis en œuvre pour les travaux de forage .....	118
3.9.2.1.	Forage de l'avant trou.....	118
3.9.2.2.	Matériel de forage rotary .....	118
3.9.2.3.	Installation électrique .....	118
3.9.3.	Organisation générale du chantier .....	118
3.9.3.1.	Horaires de travail .....	118
3.9.3.2.	Effectifs d'intervention.....	118
4.	Étude d'impact sur l'environnement .....	120
4.1.	<i>Justification et contexte du projet.....</i>	<i>120</i>
4.1.1.	Justification du projet .....	120
4.1.2.	Contexte géographique et administratif de Bonneuil-sur-Marne .....	121
4.1.3.	Contexte historique de Bonneuil-sur- Marne .....	121
4.1.4.	Contexte socio-économique de Bonneuil-sur-Marne .....	123
4.1.4.1.	Les axes de communication et de transport.....	123
4.1.5.	Patrimoine architectural de Bonneuil-sur-Marne .....	124
4.1.6.	Les espaces verts .....	125
4.2.	<i>Description du site et de son environnement- Etat initial du site.....</i>	<i>125</i>
4.2.1.	Situation et description du site .....	125
4.2.2.	Propriétés.....	127
4.2.3.	Projet situé à proximité du site .....	127
4.2.4.	Accès et dessertes du site .....	127
4.2.5.	Equipements et habitations situés à proximité du site.....	127
4.2.6.	Caractère général du paysage du site de l'opération .....	129
4.2.7.	Qualité du sol.....	129
4.2.8.	Qualité de l'air.....	129
4.2.8.1.	Textes réglementaires.....	129
4.2.8.2.	Effets sur la santé et réglementation relative aux composés les plus fréquemment mesurés	130
4.2.8.2.1.	Dioxyde d'azote - NO2 .....	130
4.2.8.2.2.	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes – BTEX .....	131
4.2.8.2.3.	Particules PM10.....	131
4.2.8.2.4.	L'ozone.....	132
4.2.8.2.5.	Dioxyde de soufre.....	132
4.2.8.3.	Qualité de l'air dans le département du Val de Marne .....	133
4.2.9.	Environnement sonore (source : <a href="http://carto.bruitparif.fr/">http://carto.bruitparif.fr/</a> , et portail d'informations du Conseil Général du Val-de Marne) .....	135
4.2.9.1.	Cadre réglementaire.....	135

4.2.9.2.	La cartographie départementale de l'environnement sonore.....	135
4.2.9.3.	L'environnement sonore du Val-de-Marne : état des lieux .....	136
4.2.9.3.1.	Le bruit lié aux grandes infrastructures de transport .....	136
4.2.9.4.	Environnement sonore du site à Bonneuil-sur-Marne.....	138
4.2.10.	Urbanismes et servitudes.....	139
4.2.10.1.	Réglementation – Code de l'urbanisme relatif au site.....	139
4.2.10.2.	Servitudes .....	142
4.2.10.3.	Projet d'Aménagement et de Développement Durable, (PADD).....	142
4.2.11.	Servitude au titre du code minier.....	142
4.2.12.	Réseaux .....	142
4.2.13.	Risques industriels et naturels .....	142
4.3.	<i>Analyse des impacts du projet et mesures destinées à supprimer, ou compenser, les effets négatifs</i> <sup>143</sup>	
4.3.1.	Impact sur le contexte socio-économique de la ville.....	144
4.3.1.1.	Impact temporaire.....	144
4.3.1.2.	Impact permanent .....	144
4.3.2.	Protection du patrimoine .....	144
4.3.3.	Impact sur la circulation et les infrastructures.....	144
4.3.3.1.	Impact temporaire.....	144
4.3.3.2.	Impact permanent .....	146
4.3.4.	Impact sur la sécurité des personnes.....	147
4.3.4.1.	Impact temporaire.....	147
4.3.4.2.	Impact permanent .....	147
4.3.5.	Impact sur le paysage, la faune et la flore .....	148
4.3.5.1.	Impacts temporaires.....	148
4.3.5.2.	Impacts permanents .....	148
4.3.6.	Impacts sur le sol et les eaux de surface.....	148
4.3.6.1.	Impact temporaire.....	149
4.3.6.2.	Impact permanent .....	149
4.3.7.	Impacts sur la géologie et les aquifères profonds.....	149
4.3.8.	Impact visuel .....	150
4.3.8.1.	Impact visuel temporaire .....	150
4.3.8.2.	Impact visuel permanent.....	151
4.3.9.	Impacts sur la qualité de l'air .....	151
4.3.9.1.	Les poussières.....	151
4.3.9.2.	Rejets des gaz de combustion des moteurs.....	151
4.3.9.3.	Les gaz géothermaux .....	151
4.3.10.	Nuisances sonores .....	152

4.3.10.1.	Impact temporaire.....	152
4.3.11.	Impact sur les réseaux existants .....	157
4.3.12.	Déchets et propreté du site .....	157
4.4.	<i>Incidence des travaux et de l'exploitation sur les ressources en eau et compatibilité avec le SDAGE Seine-Normandie .....</i>	<i>160</i>
4.4.1.	Les schémas d'aménagement concernés .....	160
4.4.1.1.	Le SDAGE du bassin Seine-Normandie .....	160
4.4.1.2.	Le SAGE relatif au secteur d'étude : le SAGE « Marne Confluence ».....	162
4.4.1.3.	Périmètre de protection.....	164
4.4.2.	Protection des ressources en eaux souterraines au droit du site .....	165
4.4.2.1.	Les aquifères concernés.....	165
4.4.2.2.	Les ouvrages de captage recensés aux abords du site .....	167
4.4.2.3.	Incidence des travaux sur les ressources en eaux souterraines et mesures compensatoires.....	170
4.4.3.	Incidence des travaux sur les eaux de surface .....	171
4.4.3.1.	Rappel des objectifs.....	171
4.4.3.2.	Mesures compensatoires.....	171
4.5.	<i>Eléments économiques en regard des impacts et des mesures compensatoires.....</i>	<i>172</i>
4.5.1.	Phase travaux de forage.....	173
4.5.2.	Phase exploitation.....	173
5.	document de sÉcurité et de santé .....	174
5.1.	<i>Document de sécurité et de santé durant les travaux.....</i>	<i>174</i>
5.2.	<i>Sécurité du public.....</i>	<i>174</i>
5.2.1.	Circulation des véhicules.....	175
5.2.1.1.	Accès au chantier.....	175
5.2.1.2.	Importance du trafic en relation avec les travaux.....	175
5.2.1.3.	Circulation des véhicules sur la plate-forme .....	175
5.2.2.	Bruits de chantier.....	176
5.2.3.	Production d'eau ou de gaz géothermaux.....	176
5.2.4.	Stockage de produits divers.....	176
5.2.5.	Accès au site .....	177
5.2.5.1.	Accès des personnes non autorisées .....	177
5.2.5.2.	Sécurité des visiteurs autorisés .....	177
5.2.6.	Infrastructures de chantier .....	177
5.2.7.	Protection de la santé du personnel sur le chantier.....	178
5.2.8.	Mesures et éléments de prévention.....	178
5.2.8.1.	Registre de sécurité.....	178
5.2.8.2.	Consignes de sécurité .....	179

5.2.9.	Protection contre l'incendie.....	180
5.2.10.	Protection contre le sulfure d'hydrogène.....	180
5.2.10.1.	Risque – H <sub>2</sub> S.....	180
5.2.10.2.	Mesures de prévention.....	180
5.2.11.	Documents à présenter dans le cadre de travaux de maintenance .....	181
5.3.	<i>Document de sécurité et de santé durant l'exploitation d'un gîte géothermal.....</i>	<i>182</i>
5.3.1.	Étude du scénario de fuite par percement d'un cuvelage en exploitation .....	182
5.3.1.1.	Risque maximal de fuite.....	182
5.3.1.2.	Procédure mise en place en cas de fuite .....	182
5.3.1.3.	Analyse des risques de fuite .....	182
5.3.1.4.	Mesures préventives pour limiter les risques de fuite .....	183
5.3.1.5.	Suivi réglementaire sous-sol.....	183
5.3.1.6.	Traitement anti-corrosion.....	184
5.3.1.7.	Mesures correctives en cas de fuite.....	185
5.3.1.8	Mesures de sécurité en cas de fuite.00 .....	186
5.3.2.	Mesures prises pour protéger la population riveraine des odeurs liées aux émanations d'H <sub>2</sub> S	186
5.3.3.	Documents à présenter dans le cadre de travaux de maintenance .....	186

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	coupe du Puits GBL-3.....	27
Figure 2 :	Situation du doublet géothermique de Bonneuil-sur-Marne (gélule rouge) par rapport aux autres exploitations géothermiques au Dogger du Val de Marne.....	38
Figure 3 :	Schéma de principe d'implantation du nouveau puits à proximité des puits existants .....	40
Figure 4 :	Localisation du secteur d'étude et du site d'implantation (étoile) – Limites des communes (trait noir) .....	43
Figure 5 :	Plan et accessibilité de la centrale (étoile bleue) et du site d'implantation du nouveau puits à proximité des puits existants .....	44
Figure 6 :	localisation des doublets à proximité du site de Bonneuil (en rouge). Les exploitations à proximité immédiate sont en orange (Créteil, Villeneuve-Saint-Georges et Sucy-en-Brie), les plus éloignées en jaune (Orly, Thiais, Maisons-Alfort, Alfortville) .....	45
Figure 7 :	Emprise du permis de recherche (en vert), nouvelle gélule d'exploitation prévisionnelle hachurée en rouge.....	46
Figure 8 :	Coupe géologique schématique du Bassin Parisien.....	48
Figure 9 :	Coupe stratigraphique du Bassin Parisien avec localisation des principaux aquifères et la carte du gradient géothermale (source BRGM, Département Géothermie) .....	48
Figure 10 :	Structure au toit des faciès calcaires du Jurassique moyen (par F.Héritier et J.Villemin, 1971).....	50

Figure 11 : Coupe géologique prévisionnelle du puits GBL-4 et report des côtes des précédents forages du site de Bonneuil s/Marne .....	51
Figure 12 : toit du réservoir Albien dans le Val de Marne (source : BRGM) .....	52
Figure 13 : Carte des transmissivités (D.m) .....	55
Figure 14 : Carte d'iso valeurs des températures du Dogger .....	57
Figure 15 : Logigramme de simulation de réservoir .....	59
Figure 16 : Grille du domaine simulé.....	60
Figure 17 : schématisation sandwich du réservoir multi-couches .....	60
Figure 18 : Champ des pressions du Dogger.....	62
Figure 19 : Etat thermique année 2014 (°C).....	65
Figure 20 : Rabattement année 2014 (bars).....	65
Figure 21 : Impacts thermiques simulés de la réinjection après 30 ans d'exploitation (Température en °C)- Scenarior 1 .....	66
Figure 22 : Rabattements simulés (bars) après 30 ans d'exploitation - Scenarior 1 .....	66
Figure 23 : Impacts thermiques simulés de la réinjection après 30 ans d'exploitation (températures en °C) - Scénario 2.....	67
Figure 24 : Rabattements simulés (bars) après 30 ans d'exploitation - Scénario 2.....	67
Figure 25 : Impacts thermiques simulés de la réinjection après 30 ans d'exploitation (températures en °C) .....	68
Figure 26 : Coupe thermique verticale Section A-A' .....	68
Figure 27 : Courbes de température de production au réservoir en fonction du temps (année) pour les 3 scenarii d'exploitation candidats .....	69
Figure 28 : Implantation prévisionnelle de GBL-4 (coordonnées : Lambert I).....	70
Figure 29 : Distance des impacts au réservoir du Dogger des puits du doublet de Bonneuil-sur-Marne (système de coordonnées : Lambert II étendu).....	71
Figure 30 : En rouge emprise du périmètre d'exploitation du doublet actuel ; hachurée en rouge, emprise prévisionnelle du périmètre d'exploitation du doublet GBL-3/GBL-4 de Bonneuil-sur-Marne ; en vert le périmètre du permis de recherche.....	72
Figure 31 : Profil du nouvel ouvrage de captage par rapport au puits injecteur GBL-3 .....	74
Figure 32 : Coupe prévisionnelle de forage .....	75
Figure 33 : Schéma de principe de la boucle géothermale .....	76
Figure 34 : Eléments existants du doublet actuel .....	80
Figure 35 : schéma de principe du réseau de chaleur de Bonneuil-sur-Marne.....	81
Figure 36 : réseau géothermique de Bonneuil-sur-Marne au terme du projet ANRU.....	82
Figure 37 : Limite de l'emprise de chantier sur le site de la centrale géothermique de Bonneuil-sur-Marne .....	91
Figure 38 : Plan de génie civil type d'une cave standard (un seul puits) .....	92
Figure 39 : Concept de puits géothermique anticorrosion et Tubes ( $9^{m5/8}$ ) en matériaux composites remontés au jour après 13 ans de service (puits de production GLCS1 de La Courneuve Sud) (source : GPC IP) .....	94
Figure 40 : Paramètre de trajectoires candidates. Option complétion matériaux composites (OMC) ..	97

Figure 41 : Trajectoires candidates. Option complétion matériaux composites (OMC).....	98
Figure 42 : Vue 2D du puits acier/composites GBL4-P.....	99
Figure 43 : Trajectoires (inclinaisons et azimuths) des puits existants et projetés.....	100
Figure 44 : Profil du puits acier/composites GBL4 (KOP = 350 m).....	101
Figure 45 : courbe d'avancement prévisionnel du forage.....	110
Figure 46 : Puits de production GBL4. Courbe caractéristique pressions/débits et puissance de pompage.....	112
Figure 47 : Puits d'injection GBL3. Courbe caractéristique pressions/débits et puissance de pompage.....	113
Figure 48 : Schéma de détail du doublet de Bonneuil sur Marne.....	116
Figure 49 : éléments constitutifs du forage.....	117
Figure 50 : Situation géographique de Bonneuil-sur-Marne dans le Val-de-Marne.....	121
Figure 51 : Réseau routier desservant Bonneuil-sur-Marne.....	124
Figure 52 : Plate-forme des puits actuels située dans l'enceinte de la centrale géothermique de Bonneuil-sur-Marne.....	126
Figure 53 : Accès au site.....	127
Figure 54 : Plan du cadastre au niveau du site de forage.....	128
Figure 55 : Concentrations moyennes annuelles (2014) en dioxyde d'azote, en ozone, en particules PM10 et en Benzène en Ile-de-France.....	133
Figure 56 : graphique de répartition des indices ATMO dans le Val-de-Marne pour l'année 2015 ...	134
Figure 57 : Cartographie du bruit Val-de-Marne.....	136
Figure 58 : Carte des niveaux sonores (bruit global hors industriel) selon l'indicateur journée Lden au droit du site d'implantation du nouveau forage à Bonneuil-sur-Marne.....	138
Figure 59 : Carte des niveaux sonores (bruit global hors industriel) selon l'indicateur nuit Ln au droit du site d'implantation du nouveau forage à Bonneuil-sur-Marne.....	139
Figure 60 : Zonage du PLU concernant le site.....	141
Figure 61 : Projet d'implantation du chantier de forage.....	145
Figure 62 : Implantation des têtes de puits GBL-1ST et GBL-3 sur le site de la centrale géothermique de Bonneuil-Sur-Marne.....	147
Figure 63 : Exemple d'implantation d'un chantier de forage dans un contexte très urbanisé (site de Maisons-Alfort).....	150
Figure 64 : Rose des bruits – Appareil de forage HH 300.....	155
Figure 65 : Suivi sonore de l'appareil HH 300 (300 tonnes dyn.).....	156
Figure 66 : Echelle du bruit en dB(A) (source ADEME).....	156
Figure 67 : Périmètre du SAGE 2009-2015.....	163
Figure 68 : L'origine de l'eau potable sur le territoire Marne Confluence.....	164
Figure 69 : Localisation des périmètres de protection du Val-de-Marne (source ARS Val-de-Marne).....	165
Figure 70 : Carte des ouvrages du sous-sol recensés autour du site du projet (source BSS-BRGM) .	168
Figure 71 : schéma du contrôle du puits de production par traçage à l'eau douce.....	185

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques du réservoir du Dogger à Bonneuil-sur-Marne (Puits GBL-1 et GBL-2 à l'origine en 1985).....	22
Tableau 2 : CAPEX forage/complétion. Puits producteur GBL4 acier/composites [KOP@350m/sol, complétion ( $13^{3/8} \times 9^{5/8}$ )].....	26
Tableau 3 : Programme prévisionnel de maintenance du doublet de 2017 à 2036 .....	30
Tableau 4 : Coordonnées du permis de recherche sollicité .....	45
Tableau 5 : Principaux paramètres réservoir des puits GBL-1, GBL-2, GBL-3 et des puits voisins de Créteil (GCRT-1 et GCRT-2).....	54
Tableau 6 : paramètres principaux pris en compte dans la détermination de la productivité de GBL-456	
Tableau 7 : Indices de productivité prévisionnels .....	57
Tableau 8 : Paramètres hydrodynamiques du modèle .....	62
Tableau 9 : Scenarii d'exploitations envisagées pour le doublet de Bonneuil sur Marne .....	63
Tableau 10 : Débit maximal des simulations pour les exploitations proches de Bonneuil .....	63
Tableau 11 : Historique d'exploitation des doublets simulés (1984-2015).....	64
Tableau 12 : descriptif sommaire des équipements de la boucle sous-sol du doublet de Bonneuil-sur-Marne avec estimation des fréquences de renouvellement.....	77
Tableau 13 : Détail des paramètres physico-chimiques suivis et périodicité selon l'arrêté préfectoral d'exploitation en vigueur.....	85
Tableau 14 : Programme de forage/complétion. Option matériaux composites 1 (OMC-1) .....	102
Tableau 15 : Programme de forage/complétion. Option matériaux composites 2 (OMC-2) .....	103
Tableau 16 : Programme de Forage/Complétion. Option Complétion Matériaux Composites 1 (OMC-1). Trajectoire 1 (OMC1) .....	104
Tableau 17 : Programme de Forage/Complétion. Option Complétion Matériaux Composites 1 (OMC-1). Trajectoire 2 (OMC2) .....	105
Tableau 18 : Programme de Forage/Complétion. Option Complétion Matériaux Composites 2 (OMC-2). Trajectoire 1 (OMC1) .....	106
Tableau 19 : Programme de Forage/Complétion. Option Complétion Matériaux Composites 2 (OMC-2). Trajectoire 2 (OMC2) .....	107
Tableau 20 : programme de diagraphies .....	108
Tableau 21 : Programme de test de BOP.....	109
Tableau 22 : abréviations relatives au tableau précédent .....	109
Tableau 23 : perte de charges linéaires dans les tubages de complétion.....	112
Tableau 24 : Organisation générale du chantier .....	119
Tableau 25 : Seuils et valeurs réglementaires .....	130
Tableau 26 : Valeurs limites pour la protection de la santé et objectif qualité relatifs au Benzène ....	131
Tableau 27 : Valeur guide relative au toluène.....	131
Tableau 28 : Valeurs et seuils règlementaires relatifs aux particules PM10 .....	132

Tableau 29 : Seuils réglementaires relatifs à l’ozone .....	132
Tableau 30 : Seuils et valeurs limites réglementaires relatifs au dioxyde de soufre .....	132
Tableau 31 : Estimation du nombre de camions desservant le site selon les phases de travaux sur GBL-4.....	146
Tableau 32 : Travaux et emprises prévisibles lors de l’exploitation du doublet géothermique .....	146
Tableau 33 : Valeurs d’émergence maximales admissibles .....	154
Tableau 34 : Caractéristiques des points d’eau recensés dans un rayon de 3 km autour du site de Bonneuil-sur-Marne (source BSS). .....	169
Tableau 35 : Vitesse de vent et période moyenne de retour en Ile de France (Source : site internet meteo-paris.com).....	178

## **LISTE DES ANNEXES**

- Annexe 1 : AP prolongation du 24-07-2014
- Annexe 2 : Réunion DRIEE du 24.09.14. Puits GBL1-ST
- Annexe 3 : Comptes administratifs
- Annexe 4 : informations techniques et financières de GPC-IP
- Annexe 5 : Planning prévisionnel : Informations techniques et financières
- Annexe 6 & Annexe 7 : Historique des matériaux composites
- Annexe 8 : Documentation sécurité sulfure
- Annexe 9 : DOE nouveau puits injecteur GBL-3

# 1. INFORMATIONS GÉNÉRALES

## 1.1. Justification de la demande et du projet

### 1.1.1. Objet de la demande

La ville de Bonneuil-sur-Marne utilise la géothermie depuis 1985. Initialement, les puits qui composaient ce doublet étaient GBL-1 et GBL-2. Depuis 2014, un nouveau doublet géothermique (GBL-1ST/GBL-3), situé rue Gabriel Péri sur la commune de Bonneuil-sur-Marne assure, avec le réseau de distribution de 5,5 km qui alimentent 42 sous-stations, une partie des besoins de chaleur de 4300 équivalents logements. La mixité de la production énergétique actuelle est 75,61 % géothermie (1 doublet) et 25 % gaz (2 chaudières de 2907 kW et 2 chaudières de 4652 kW).

L'arrêté n°2014/6325 du 24 juillet 2014 autorise le syndicat mixte pour la production et la distribution de chaleur à Bonneuil-sur-Marne (SETBO) à poursuivre l'exploitation du gîte géothermique à basse température du Dogger jusqu'au 15 janvier 2028 (Cf. Annexe 1).

Cependant, l'usure prématurée de l'ouvrage producteur GBL1-ST foré en 1985 et repris en *sidetrack* en 2009, ne permet plus de garantir l'étanchéité du puits (cf. Annexe 2 : CR de réunion du 24 Septembre 2014 à la DRIEE). Il est donc nécessaire d'abandonner ce puits et de réaliser un nouveau puits de production GBL4 pour assurer la continuité de service.

Les objectifs du SETBO sont :

- d'optimiser la ressource géothermale ;
- de pérenniser et fiabiliser les installations ;
- de créer un nouveau puits de production (GBL4) propre à assurer ses besoins existant et futur avec un taux de couverture minimum de 75% ;
- de s'assurer de l'isolement des couches aquifères
- de garantir les conditions de confort de ses abonnés et des tarifs compétitifs ;
- de maîtriser ses dépenses de fonctionnement.

DALKIA gère les ouvrages de production et de distribution de l'énergie sous un contrat de type « prestations forfaitaires » en régie pour une durée de trois ans. Les analyses physico-chimiques et le suivi du traitement en fonds de puits sont réalisés par la société BWT Permo sous un contrat annuel.

Afin de sécuriser, pérenniser et développer les moyens de production de chaleur géothermique, le SETBO a décidé de confier à GPC-IP une mission de maîtrise d'œuvre pour l'abandon du puits GBL1-ST et la conception et la réalisation d'un nouveau puits de production GBL-4 innovant et anticorrosion qui permettra une augmentation significative de la production géothermale qui passera de 120 m<sup>3</sup>/h à 240 m<sup>3</sup>/h. L'intégralité du débit d'exhaure sera réinjecté dans le puits GBL-3 foré en 2012. Cette augmentation du débit géothermal est nécessaire pour alimenter les bâtiments qui seront raccordés à l'actuel réseau de chaleur (ANRU 2016).

C'est dans ce contexte que le SETBO dépose une demande d'autorisation de recherche d'un gîte géothermique basse température et une demande d'autorisation d'ouverture de travaux de recherche d'un gîte géothermique qui l'accompagne.

Le dossier comprend dans un premier temps **une demande qui concerne l'octroi d'une autorisation de recherche d'un gîte géothermique basse température** (inférieure à 150°C) **au Dogger** dans un périmètre incluant *pro parte* les communes suivantes du Val-de-Marne:

- Bonneuil-sur-Marne ;
- Boissy-Saint-Léger ;
- Limeil-Brévannes ;
- Sucy-en-Brie ;
- Créteil

Ce dossier comprend également **une demande d'autorisation d'ouverture de travaux de recherche d'un gîte géothermique au Dogger** correspondant à la réalisation d'un puits orienté et incliné GBL-4, dédié au pompage de l'eau du Dogger.

Le site d'implantation de la tête de puits de GBL-4 est localisé dans l'enceinte actuelle de la centrale géothermique à proximité immédiate des têtes des 3 puits existant (GBL-1ST / GBL-2/ GBL-3), 1 rue Gabriel Péri à Bonneuil-sur-Marne (94). Cette parcelle référencée n° 133 section UCc sur le cadastre national informatisé a été mise à la disposition du syndicat mixte SETBO par la Ville de Bonneuil-sur-Marne.

### *1.1.2. Contenu du dossier*

Le dossier détaille les aspects techniques et environnementaux relatifs au puits GBL-4 faisant l'objet de la demande d'autorisation de recherche et de la demande d'autorisation d'ouverture de travaux. Il présente également les modalités d'abandon du puits GBL-1ST.

Dans sa structure, ce dossier constitue l'armature de la future demande de permis d'exploitation qui sera complétée par les informations obtenues à l'issue des travaux et plus particulièrement des tests de production finaux.

Vu le (nouveau) code minier et vu le décret n°78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie et le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 relatif à l'ouverture des travaux miniers et à la police des mines :

**Le Chapitre 1** de ce document traite des informations générales, il comprend :

- les informations relatives à la demande ;
- l'identification du demandeur et la justification de ses capacités techniques et financières ;
- le contexte et la description du projet de valorisation de la ressource ;
- le budget prévisionnel du projet et le plan de financement;
- le planning prévisionnel ;
- les conditions réglementaires d'accès à la ressource;
- l'identification des risques et des contraintes techniques et organisationnelles applicables au projet ;
- le financement du projet et les garanties.

**Le Chapitre 2** concerne la demande du permis de recherche d'un gîte géothermique au Dogger. Il comprend :

- la localisation du secteur d'étude ;
- les sollicitations actuelles de l'aquifère du Dogger et l'emprise prévisionnelle du projet ;
- les contextes géologique et hydrogéologique du secteur d'étude ;
- la modélisation des impacts hydraulique et thermique du réservoir sur la durée du permis sollicité ;
- le débit et le volume d'exploitation prévisionnels ;
- la description des dispositifs de mobilisation de la ressource ;
- la description des modifications de surface ;
- la description des contrôles périodiques et du suivi de l'exploitation ;
- les conditions d'arrêt de l'exploitation du gîte géothermique.
- Un résumé de l'étude d'impact sur l'environnement

**Le Chapitre 3** de ce document concerne la demande d'ouverture de travaux de forage. Il comprend :

- un mémoire exposant les caractéristiques principales des travaux prévus ;
- Le programme d'abandon envisagé pour GBL-1ST ;
- La description du fonctionnement du doublet et des équipements qui le constitue ;
- l'exposé des méthodes de forage envisagées.

**Le Chapitre 4** traite de l'impact du projet sur l'environnement d'une manière globale dans le cadre de la demande de permis de recherche et d'ouverture de travaux. L'analyse des impacts permanents et temporaires, et les mesures compensatoires envisagées pour la durée de l'exploitation et pendant la phase de travaux. Ce chapitre comprend :

- la description du contexte relatif au projet ;
- la description du site et de son environnement (état initial du site) ;
- l'analyse des impacts du projet et les mesures compensatoires ;
- l'incidence des travaux sur les ressources en eau et la compatibilité du projet avec le SDAGE Seine-Normandie ;
- les éléments économiques en regard des impacts et des mesures compensatoires envisagées.

**Le Chapitre 5** traite des aspects relatifs à la sécurité et à la santé pour la période des travaux, puis pour la période d'exploitation du gîte géothermal. Ce chapitre comprend :

- le document de sécurité et de santé durant les travaux ;
- la description des mesures prises pour assurer la sécurité du public
- le document de sécurité et de santé durant l'exploitation d'un gîte géothermal

### *1.1.3. Pertinence du projet*

La Ville de Bonneuil-sur-Marne s'est engagée dans un large projet de rénovation urbaine qui a été approuvé et retenu par l'Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine (ANRU) lors de la présentation du dossier au Comité National d'Engagement du 18 décembre 2008.

Dans ce cadre, la Ville de Bonneuil-sur-Marne souhaite raccorder un maximum de nouvelles constructions sur le réseau de chaleur de la Ville. L'étude de faisabilité aboutit aux conclusions suivantes concernant le réseau de chaleur :

- démolition de 460 logements ;
- construction de 1217 logements ;
- travaux s'échelonnant entre 2010 et 2016.

Ces travaux élèveront les besoins de production au terme de l'année 2016 à près de 44 400 MWh. En outre la possibilité de raccorder les villes de Limeil-Brévannes et Boissy-Saint-Léger, actuellement à l'étude, permettrait d'accroître les besoins de 18 800 MWh supplémentaires.

Or l'intégrité du puits producteur (GBL1-ST) actuel ne permet plus de garantir son étanchéité. A l'issue de la réunion du 24 Septembre 2014 la DRIEE a donc recommandé son abandon et la création d'un nouveau puits. Dans ce contexte le projet d'un nouveau puits producteur GBL-4 anticorrosion s'avère judicieux pour pérenniser et sécuriser la ressource.

Par ailleurs, il faut rappeler que la ressource présente des caractéristiques très favorables sur ce site et sa valorisation sur le réseau permettra de maintenir le taux de couverture d'énergie renouvelable à 75%. Cela constitue une solution techniquement performante et économiquement viable pour un prix de vente de chaleur aux abonnés proche de 57€HT/MWh<sub>th</sub> utile.

## **1.2. Qualité du demandeur**

### *1.2.1. Fiche d'identité du demandeur*

Le demandeur est Mr Patrick Douet, maire et Bonneuil-sur-Marne et président du Syndicat Mixte pour la Production et la Distribution de Chaleur à Bonneuil-sur-Marne (SETBO).

Adresse du Siège :

Hôtel de ville  
BP n°1  
94381 Bonneuil-sur-Marne Cedex

Adresse du bureau:

1, rue Gabriel Péri  
94380 Bonneuil-sur-Marne Cedex

Représentant du Maître d'ouvrage :

Monsieur Patrick DOUET  
Président

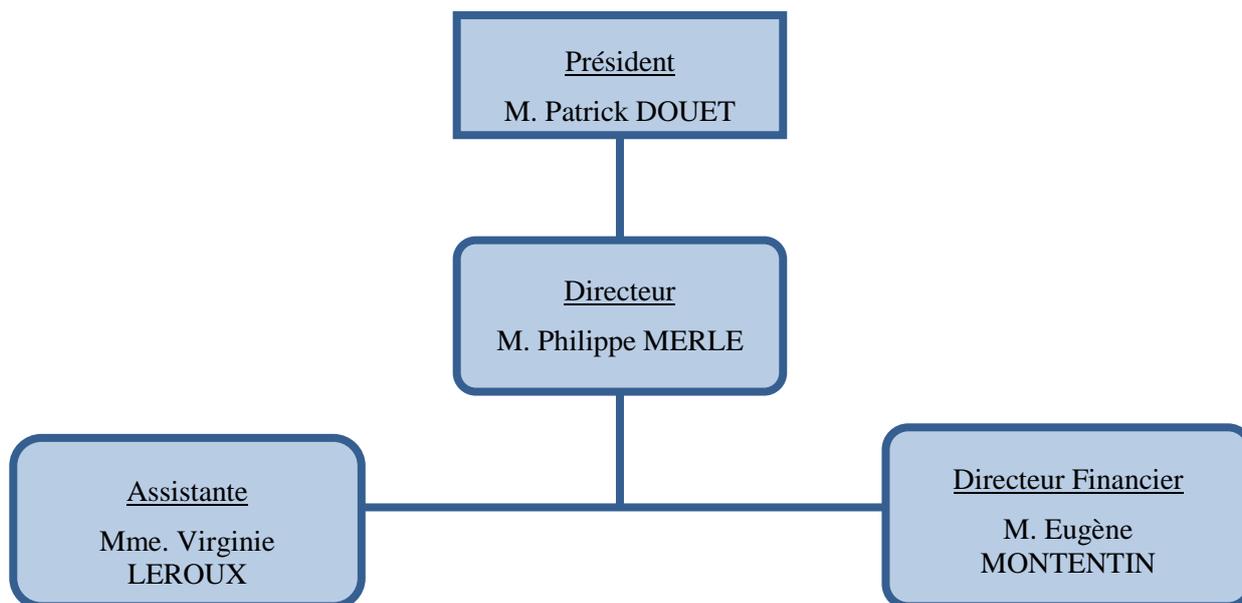
## Présentation

Le SETBO est un syndicat mixte ouvert élargi et institué entre :

- la commune de Bonneuil-sur-Marne ;
- l'OPH de Bonneuil-sur-Marne ;
- Valophis (anciennement OPAC du Val-de-Marne).

Le SETBO est un établissement public à caractère industriel et commercial.

L'organigramme de SETBO est présenté ci-dessous :



### Capacité financière et taux d'endettement sur les trois dernières années

L'Annexe 3 présente les comptes administratifs des années 2012, 2013, 2014. Les détails des documents comptables sont disponibles auprès de la ville de Bonneuil-sur-Marne.

#### *1.2.2. Justification des capacités techniques et financières du demandeur*

##### *1.2.2.1. Le maître d'ouvrage*

Le porteur du projet est le syndicat mixte SETBO. Le syndicat dispose d'une expérience de plus de 30 années de gestion d'un réseau géothermal. Il fait appel à des bureaux d'études extérieurs pour l'accompagner dans l'exploitation de son installation et la conception – réalisation de ses projets neufs.

C'est la société DALKIA qui assure l'exploitation et le petit entretien des équipements de la centrale pour le compte du SETBO.

Le SETBO a par conséquent confié à GPC-IP une mission de maîtrise d'œuvre des travaux du sous-sol pour la réalisation du doublet.

Le SETBO dispose d'un patrimoine géothermal important composé d'un doublet initialement mis en service en 1985 puis renouvelé dernièrement en 2014 situé sur la commune de Bonneuil-sur-Marne, et d'un réseau de distribution de chaleur de 5.5 km environ qui alimentent 42 sous-stations et assurent une partie des besoins de chaleur de 4300 équivalents logements. Dans le cadre du projet de rénovation urbaine, conformément à la volonté de la Ville de Bonneuil-sur-Marne, le SETBO souhaite raccorder un maximum de nouvelles constructions au réseau de chaleur.

Le nouveau puits de production GBL-4, et le puits injecteur GBL-3 foré en 2012, permettront une sécurisation, une pérennisation et une augmentation significative de la production géothermale qui passera de 120 m<sup>3</sup>/h à 240 m<sup>3</sup>/h.

Les caractéristiques de la ressource sont bien connues. Le réservoir du Dogger, au droit de Bonneuil-sur-Marne présente des caractéristiques remarquables (Cf. Tableau 1).

**Tableau 1 : Caractéristiques du réservoir du Dogger à Bonneuil-sur-Marne (Puits GBL-1 et GBL-2 à l'origine en 1985)**

	<b>Profondeur Verticale</b>	<b>Température au sabot</b>
<b>Puits injecteur GBL-2</b>	1632 m	79,7 °C
<b>Puits producteur GBL-1</b>	1623 m	79,3 °C

#### *1.2.2.2. La maîtrise d'œuvre*

Pour ce qui concerne les travaux de surface, études, conception et suivi des travaux de réalisation, le syndicat mixte SETBO s'appuiera sur un bureau d'étude surface SERMET afin de compléter ses compétences propres. Leurs coordonnées sont présentées ci-dessous :

#### **SERMET**

1 rue Séjourné  
94000 CRETEIL  
Tél : 01 43 97 93 49  
Télécopie : 01 43 97 47 01  
Mél : [ccannet@sermet.fr](mailto:ccannet@sermet.fr)  
Adresse internet : <http://betsermet.com/>  
Christian CANET, Président

Pour ce qui concerne les travaux du sous-sol, le syndicat mixte SETBO a fait appel au bureau d'études GPC-IP, spécialisé en géothermie depuis 1985.

#### **GPC Instrumentation Process**

(SARL)

165, RUE DE LA BELLE ETOILE- BP 55030  
95946 ROISSY CDG Cedex  
Tél. : 01.48.63.08.08  
Fax. : 01.48.63.08.89  
Courriel : [office@geoproduction.fr](mailto:office@geoproduction.fr)  
Adresse internet : <http://www.gpc-france.com>  
Siret : 421 314 386 00028  
Pierre UNGEMACH, Gérant

GPC INSTRUMENTATION PROCESS (GPC IP), Bureau d'Études spécialisé dans l'ingénierie géothermique, assure les études de sous-sol, les démarches administratives et les dossiers concernant la géothermie profonde. GPC IP est une société créée en 1998 à partir d'un noyau d'ingénieurs expérimentés dans l'exploration et l'exploitation des fluides du sous-sol (eau, hydrocarbures, géothermie) avec pour objectif la promotion de technologies de forage/complétion/production innovants.

Son champ d'intervention couvre les domaines d'activité suivants :

- forage/complétion;
- ingénierie de réservoirs et évaluation de ressources et réserves;
- mesures électriques/essais de puits, simulations de réservoirs et gestion des ressources;
- suivi et maintenance des installations de production;
- réparations (« *workovers* ») de puits et complétions endommagés;
- service « *coiled tubing* »;
- traitement/abattement des effluents et rejets;
- inhibition chimique anti-corrosion/dépôts/biocides;
- études de faisabilité et montages financiers;
- études d'impact environnemental;
- aspects légaux et réglementaires.

Sept brevets d'invention (France, Europe, USA) ont été déposés à ce jour.

Afin de sécuriser la réussite, aux plans techniques et financiers, de projets souvent complexes, la structure maison, matérialisée par un effectif de treize personnes à temps plein, a été maintenue à dessein légère et ouverte à des collaborations et partenariats, scientifiques et industriels, extérieurs. Cette souplesse permet de concentrer, sur un objectif précis, l'expertise et le savoir faire conceptuels et industriels ainsi que l'accompagnement financier.

Les informations techniques et financières concernant GPC IP sont consignées en Annexe 4.

### 1.3. Contexte et description du projet de valorisation de la ressource

#### 1.3.1. Situation actuelle

La réalisation d'un nouvel ouvrage de production d'eau géothermale pour le chauffage urbain s'inscrit dans le contexte de l'exploitation des ressources géothermiques des formations carbonatées perméables (calcaires oolithiques principalement) du Dogger (Jurassique moyen) du centre du Bassin Parisien.

En l'état actuel, les moyens de production géothermale composés d'un puits de production GBL1-ST dégradé et d'un puits de réinjection GBL-3 ne permettent plus d'envisager une exploitation à moyen ou long terme dans un contexte de croissance de la demande de chaleur (besoin de 44 400 MWh attendu fin 2016). De plus, l'usure prématurée du puits GBL1-ST nécessite son abandon imminent.

Le puits GBL3 a été foré en 2012 jusqu'au Dogger (1735 m NGF en fond de puits) en remplacement du puits GBL-2 mis hors service suite à des travaux de maintenance. Le débit mobilisable en production artésienne à partir de l'ouvrage GBL-3, conservé pour le doublet, est de 150 m<sup>3</sup>/h et 280 m<sup>3</sup>/h avec pompe.

### 1.3.2. Description sommaire de l'opération projetée

L'exploitation de la chaleur géothermale repose sur le schéma minier du doublet géothermique combinant un puits producteur et un ouvrage injecteur re-pompant le fluide géothermal refroidi, après échange de chaleur, dans le réservoir source.

L'étude préliminaire de faisabilité réalisée par GPC-IP dans le cadre d'une mission de maîtrise d'œuvre globale a permis de faire ressortir un scénario pertinent de fonctionnement en doublet, permettant de valoriser l'ouvrage injecteur GBL-3 foré récemment et le futur ouvrage producteur GBL-4 permettant une exploitation à 250 m<sup>3</sup>/h.

Le projet présente par ailleurs un caractère particulièrement vertueux en matière de gestion de la ressource du Dogger dans un secteur fortement sollicité en limitant la zone d'extension de sa bulle froide (1 puits producteur proche de l'ancien puits producteur et la bulle froide du puits injecteur à l'emplacement de la bulle froide actuelle). Les têtes de puits sont localisées sur la commune de Bonneuil-sur-Marne dans l'enceinte du SETBO.

Enfin, la complétion en matériaux composites présente un caractère résolument innovant augmentant les capacités et performances de production du puits tout en limitant la corrosion liée à la nature corrosive de la ressource du Dogger. Les caractéristiques prévisionnelles du réservoir du Dogger dans l'emprise de l'exploitation sont une température attendue de 79°C pour un débit de production à 240 m<sup>3</sup>/h.

## 1.4. Budget prévisionnel et plan de financement du projet

L'analyse fait appel à la méthode du *cashflow* actualisé (DCF, *discounted cash flow*) appliquée à une entité (semi) publique, non assujettie à l'impôt sur les sociétés, qui permet d'établir une base de comparaison objective vis-à-vis d'opération similaires. L'analyse est à distinguer par conséquent du compte d'exploitation de la structure gestionnaire propre à chaque opérateur.

Les calculs des investissements (CAPEX) et coûts annuels d'opération/maintenance (OPEX), miniers (puits et boucle géothermale à et de surface (modifications en centrale, extensions de réseaux et sous-stations) sont basés sur l'expérience des acteurs concernés (maîtres d'ouvrages, bureaux d'études/maîtres d'œuvre, exploitants, entreprises et sociétés de services), confortés au besoin par la consultation des entreprises, prestataires de services et fournisseurs.

Une analyse de rentabilité sera présentée au §1.5.2

### 1.4.1. Coûts d'investissement sous-sol (CAPEX)

#### 1.4.1.1. Travaux de forage du producteur GBL-4

Dans l'industrie du forage, deux types de rémunération sont utilisés, la rémunération au mètre et la rémunération en régie.

#### Rémunération au mètre

Dans la rémunération au mètre l'entreprise principale, généralement l'entreprise de forage, est rémunérée forfaitairement pour chaque mètre foré. C'est donc l'entrepreneur qui gère les opérations de forage en ce qui concerne les décisions d'ordre technique (choix des outils, des paramètres, du type de boue et toute décision liée au forage).

Dans ce type de rémunération, l'entrepreneur inclut donc dans ses prix une provision (entre 5 et 40 % suivant le type de prestation) destinée à couvrir les risques liés aux conditions de forage (vitesse d'avancement, risques de coincement, pertes de temps pour arrêts, etc.).

Dans les contrats de rémunération au mètre, certaines prestations demeurent systématiquement rémunérées au temps passé. Ce sont les prestations demandées par le Maître d'Ouvrage ou son Maître

d'œuvre dans lesquelles l'entrepreneur n'a pas la direction des opérations (mesures en cours de forage, essais de production, test d'injection par exemple).

### Rémunération en régie

La rémunération en régie est une rémunération au temps passé pour l'utilisation du matériel et du personnel de l'entrepreneur de forage et des autres entreprises concernées (cimentation, boue de forage, services de forage dirigé, diagraphies, suivi des paramètres, etc.).

Les entreprises mettent à la disposition du Maître d'ouvrage leur matériel et leur personnel. Elles approvisionnent les consommables sur la base des quantités établies par le Maître d'œuvre.

La direction des opérations est assurée par le Maître d'œuvre. Les consommables sont facturés sur justification de la consommation réelle. Ce type de rémunération est celle qui offre le plus de souplesse et qui aboutit au "juste prix" tout particulièrement quand il s'agit d'exploration.

La rémunération en régie nécessite une implication plus forte de la Maîtrise d'œuvre dans sa mission de Direction de l'Exécution des Travaux pour des opérations se déroulant 24h/24h et 7j/7j.

**A ce stade du projet, le SETBO n'a pas décidé du mode de rémunération.**

#### *1.4.1.2. Conception du nouveau puits producteur GBL-4*

Dans sa conception actuelle, le puits GBL-4 est un ouvrage dévié et orienté qui captera le Dogger entre 1620 et 1770 mètres de profondeur verticale (1878 et 2063 mètres de profondeur forée) en diamètre 12''<sup>1/4</sup>. La réalisation de ce nouvel ouvrage à tubage de soutènement en acier et complétion en matériaux composites sur la longueur totale du puits permettra de répondre aux exigences réglementaires (détaillées §1.7).

Cette solution innovante ne requiert pas de traitement inhibiteur en fond de puits pour les matériaux qui forment la complétion car ces derniers sont inertes et ne subissent donc pas la corrosion des eaux du Dogger. Le tubage en acier sera tout de même protégé par l'injection hebdomadaire d'un bactéricide et par l'injection d'un inhibiteur de corrosion au niveau de la tête de puits, qui permet de protéger l'ensemble des conduites et installations de surface ainsi que le puits injecteur contre la corrosion. Par ailleurs l'ensemble des aquifères et notamment les aquifères sensibles tels que l'Albien et le Néocomien sont doublement protégés, puisque la totalité du puits possède un tubage en acier et une complétion en matériaux composites.

**Le montant estimé pour l'investissement (CAPEX) forage/complétion du puits GBL-4 s'élèverait au terme du décompte (globalisé) du Tableau 2 à hauteur 5 856 000 € HT, option complétion par tubage en matériaux composites incluse. A ce montant s'ajoute :**

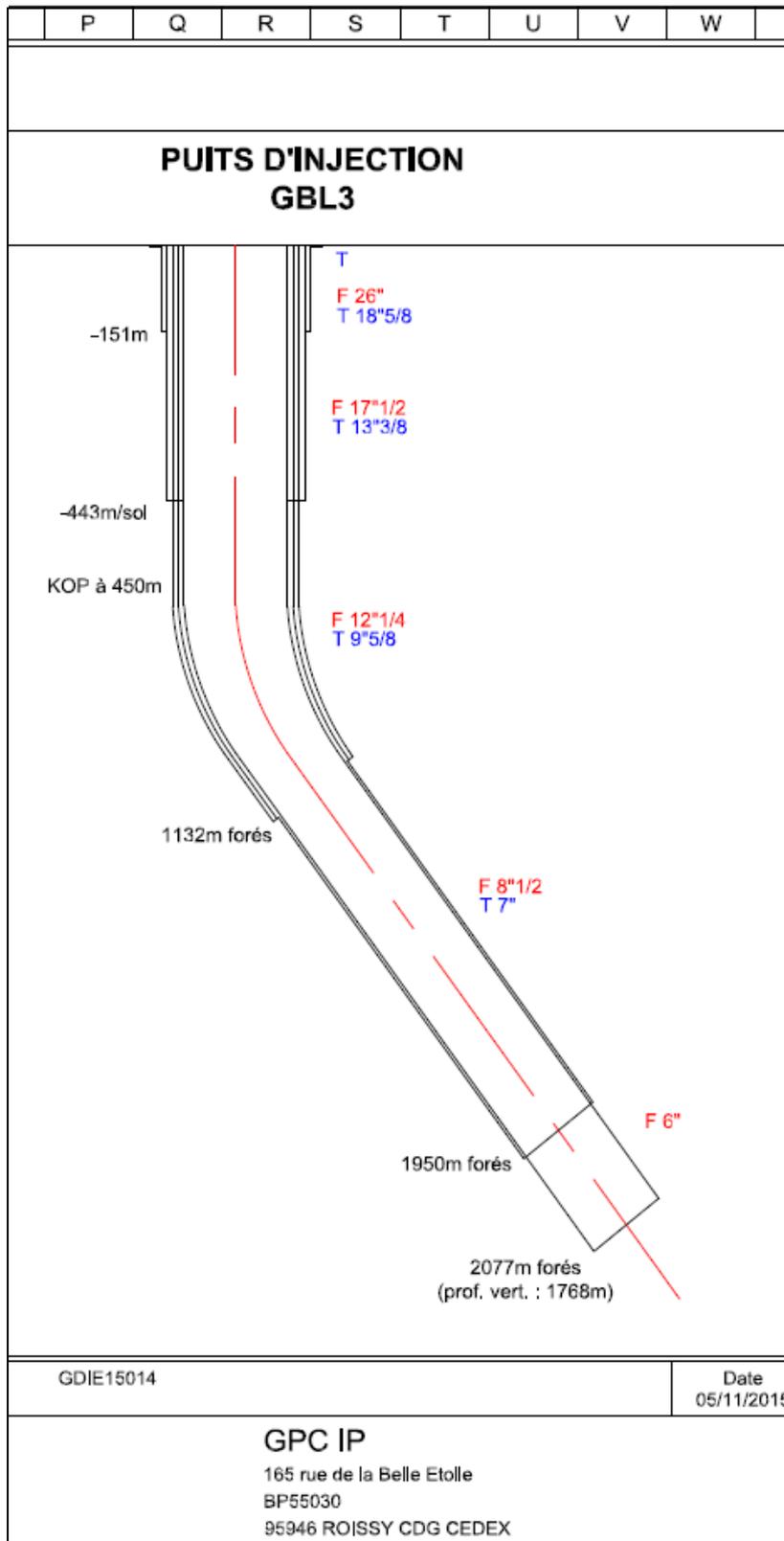
- **la cimentation d'abandon prévue pour le puits GBL1-ST estimée à 350 000 € HT (Cf. §1.4.3)**
- **Les aménagements de la boucle géothermale estimée à 170 000 € HT (Cf. §1.4.4)**

ITEM	PHASE	COUTS (K€ HT)	ALOTISSEMENT
1	Génie civil plateforme, remise en état site	50	MO
2	Avant puits 50 m	60	MO
3	Amenée/montage/démontage/repli appareil et dotation	300	FOR
4	Ripage appareil et dotation de puits à puits	Pour mémoire	FOR
<b>SOUS TOTAL</b>		<b>410</b>	
		<b>Puits Composite 1</b>	
5	Régie appareil et dotation	1250	FOR
6	Fioul	130	MO
7	Outils de forage	100	FOR
8	Fluides de forage	330	MO
9	Forage dirigé (DD, RSS, MWD, LWD)	380	MO
10	Géologie de sonde ( <i>mud logging</i> )	170	MO
11	Diagraphies différées (OH)	110	MO
12	Diagraphies différées (CH)	90	MO
13	Tubages/complétions acier	380	MO
13b	Tubages/complétions composites	370	MO
14	Levage/manutention tubages	18	MO
15	Vissage tubages/service clé	120	MO
16	Cimentations	400	MO
17	Accessoires de cimentation et cimentation	135	MO
18	Stimulation acide	50	MO
19	Essais/PLT	46	MO
20	Prélèvement de fluides/analyses (liquides et gaz)	32	MO
21	Evacuation/traitement déblais et effluents	360	MO
22	Têtes de puits	120	MO
23	Gardiennage	15	MO
<b>SOUS TOTAL</b>		<b>4606</b>	
24	Ingénierie/maîtrise d'œuvre/suivi/supervision/rapports	160	MO
25	Assurance TRC (8% total – item 5 à 25)	340	MO
26	Divers/imprévus (instrumentation, SAF, FCT...)	340	MO
<b>SOUS TOTAL</b>		<b>840</b>	
<b>TOTAL FINAL</b>		<b>5856</b>	

**Tableau 2 : CAPEX forage/complétion. Puits producteur GBL4 acier/composites  
[KOP@350m/sol, complétion (13<sup>3/8</sup> x 9<sup>5/8</sup>)]**

#### 1.4.2. Puits injecteur GBL-3

Dans le futur dispositif, le puits GBL3 sera conservé en l'état. (Cf. Figure 1). Le dossier des ouvrages exécutés relatif au forage de ce puits injecteur en 2012 est disponible en Annexe 9.



**Figure 1 : coupe du Puits GBL-3**

#### *1.4.3. Abandon du puits injecteur GBL-1ST*

L'abandon du puits injecteur GBL-1ST donnera lieu à la passation d'un marché entre le syndicat mixte SETBO et une entreprise spécialisée dans les travaux de workover. La supervision des travaux sera réalisée par GPC-IP.

**Le coût estimatif (valeur octobre 2015) des travaux d'abandon du puits injecteur GBL-1ST est de 350 000 € HT.**

Le programme de bouchage consistera à :

- La neutralisation de l'artésianisme du puits
- L'installation de l'appareil de workover et de sa dotation
- Le nettoyage hydraulico-mécanique de la phase tubée en 7"
- Les diagraphies CIC et CBL-VDL du tubage 7"
- La mise en place d'un gel visqueux colmatant dans le découvert ou mise en place d'un Bridge Plug au sabot du tubage 7"
- La mise en place de bouchons de ciment vis-à-vis des aquifères producteurs ou cimentation totale du puits avec un coiled tubing.
- La découpe du casing head et la soudure d'une plaque de fermeture
- Le ripage sur le puits GBL2
- La durée estimée du chantier est de 15 à 20 jours

#### *1.4.4. Estimation du CAPEX de surface et de la boucle géothermale*

Compte tenu de l'existence préalable des principales installations de surface (Centrale, Réseau et sous-station) le coût estimé des travaux de surface pour la demande présentée dans ce dossier reste très limité. A titre indicatif le raccordement des villes de Limeil-Brevanne et Boissy-Saint-Léger au réseau de Bonneuil-sur-Marne aurait un coût approximé de 6,4 millions d'euros.

L'aménagement à réaliser pour la boucle géothermale consiste en :

- Le raccordement du nouveau puits à la centrale et aménagements divers
- l'achat d'une pompe d'injection, à débit élevé et pression faible, pour le bactéricide ainsi qu'une cuve supplémentaire (à celle existante pour le produit inhibiteur) pour le contenir.

**Ces coûts sont estimés à 170 000 € HT.**

#### *1.4.5. Coûts d'exploitation du doublet géothermique (OPEX)*

Les coûts d'exploitation de la boucle géothermale hors échangeur présentés ci-dessous sont calculés sur une période de 10 ans, ils sont basés sur les bilans énergétiques (thermiques et électriques) relatifs au scénario de schéma minier et de production retenus dans l'analyse de faisabilité. Pour rappel : un fonctionnement en doublet avec un puits producteur à complétion en matériaux composites, exploité en débit artésien à 240 m<sup>3</sup>/h et assurant 75% du besoin en production de chaleur estimé au terme de l'année 2016 à 44 400 MWh.

ITEM		ANNÉE	2016
<b>OPEX (k € HT/AN)</b>			
<b>P1</b>	<b>MINIER</b>		
	Electricité		100
	Inhibiteurs corrosion/dépôts et bactéricides		40
	Eau		2
Sous-total :			142
<b>P2</b>	Petit entretien/suivi réglementaire		40
	Diagraphies différées d'inspection+Traçage à l'eau douce		15
	Sous-total :		
<b>P3</b>	Pompe de gavage		5
	Astreintes/pièces de rechange : échangeurs		20
	Sous-total :		
<b>P'3</b>	Provisions travaux lourds (wo, services/puits)		50
	Autres charges (SAF FLT, anti- éruption)		32
	Sous-total :		
<b>TOTAL MINIER :</b>			<b>304</b>
<b>P1</b>	<b>SURFACE</b>		
	Electricité		25
	Appoint GN (PCI taxes incluses 35 ; PCS 0,9 PCI; Rdt chaudière 0,85)		495
	Eau		6
Sous-total :			526
<b>P2</b>	Personnel de maintien/entretien (centrale, réseaux, sous-stations)		260
	Sous-total :		
<b>P3</b>	Personnel et fournitures de gros entretien (centrale, réseaux, sous-stations)		86
	Sous-total :		
<b>P'3</b>	Provision travaux lourds		150
	Autres charges (gestion, structure, assurances,)		174
	Sous-total :		
<b>TOTAL SURFACE :</b>			<b>1196</b>
<b>TOTAL OPEX :</b>			<b>1500</b>

Les coûts annuels sont estimés à partir des trois postes suivants :

***Les charges P1 (consommation de fluides) :***

- la consommation d'électricité de pompage évaluée à 1200 MWh par an ;
- la quantité de produit inhibiteur injecté annuellement évaluée à 8 000 litres.
- La quantité de bactéricide injectée évaluée à 50 L/semaine

***Les charges P2 (conduite, suivi et petit entretien)***

- le suivi réglementaire réalisé par une entreprise spécialisée assurant le suivi et le contrôle des installations géothermiques (caractéristiques chimiques de l'eau géothermale,

- paramètres hydrodynamiques des puits, paramètres électriques de fonctionnement des équipements, indicateurs de corrosion et traitement) ;
- les diagraphies réglementaires du puits du puits d'injection, et le contrôle par traçage à l'eau douce du puits d'exhaure, réalisées par une entreprise spécialisée afin de s'assurer de l'intégrité des cuvelages et de l'absence de risque de pollution des aquifères sus-jacents au Dogger, et de contrôler l'épaisseur des dépôts à la surface des parois ;
  - le petit entretien de la boucle géothermale par du personnel d'exploitation qualifié.

***Les charges P3 (gros entretien et de renouvellement des équipements de la boucle géothermale)***

- le remplacement des dispositifs de traitement par injection (inhibiteur et bactéricide) en tête de puits (tous les 10 ans) pour GBL-4;
- le renouvellement de la station de traitement (tous les 10 ans);
- le remplacement des groupes de pompage d'injection et de gavage (tous les 7 ans);
- le renouvellement des variateurs (injection et gavage) tous les 15 ans;
- le renouvellement des têtes de puits (tous les 10 ans);
- les tuyauteries et robinetteries (tous les 10 ans) ;
- l'acidification douce des deux puits tous les 5 ans.

Le Tableau 3 résume l'ensemble des opérations de maintenance préventive et curative prévisionnelles des installations du sous-sol sur une durée de vie de 20 ans.

**Tableau 3 : Programme prévisionnel de maintenance du doublet de 2017 à 2036**

Programme prévisionnel de maintenance du doublet de 2017 à 2036		
Année	GBL-3	GBL-4
2017		Réalisation du forage et abandon de GBL-1ST
2020	Diagraphie d'inspection (CBL-VDL)	
2022		Contrôle de l'intégrité par traçage à l'eau douce
2023	Diagraphie d'inspection (CBL-VDL)	
2026	Diagraphie d'inspection (CBL-VDL)	
2027	Acidification douce	Entretien du dispositif d'injection à l'annulaire - Contrôle de l'intégrité par traçage à l'eau douce
2029	Diagraphie d'inspection (CBL-VDL)	
2032	Diagraphie d'inspection (CBL-VDL)	Contrôle de l'intégrité par traçage à l'eau douce
2035	Diagraphie d'inspection (CBL-VDL)	
2037	Acidification douce	Entretien du dispositif d'injection à l'annulaire - Contrôle de l'intégrité par traçage à l'eau douce

#### 1.4.6. Plan de financement

Les objets du financement sont donc le nouveau puits GBL-4 et les modifications de la boucle géothermale pour 6 026 000 €HT et l'abandon de GBL-1ST pour 350 000 €HT, soit un total de 6 376 000 €HT.

Le plan de financement est le suivant :

- emprunt : 3 576 000 €HT
- fonds propres : 2 800 000 €HT.

Tout ou partie de ces travaux sont éligibles aux subventions du fonds chaleur (Cf. §1.5). Les demandes correspondantes seront formulées par le SETBO.

### 1.5. Financement du projet et garanties

#### 1.5.1. Subventions pouvant être accordées par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), la Région Ile de France et le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER).

Le syndicat mixte SETBO financera le projet sur ses fonds propres (à hauteur de 2 800 000 €HT) et par un emprunt (à hauteur de 3 576 000 €HT).

Le syndicat mixte SETBO prévoit également de recourir aux subventions de l'ADEME dont qui ont été redéfinies par la nouvelle loi sur la transition énergétique pour la croissance verte en 2015 et dont le doublement progressif du fond de chaleur d'ici à 2017 est prévu.

Les autres subventions pouvant être considérées étant celles :

- du fonds européen de développement régional (FEDER).
- de la Région Ile de France (délibération sur l'énergie N°CR-37-08 du mois d'avril 2008),

##### 1.5.1.1. Subventions à la réalisation – Fonds Chaleur

Le Fonds Chaleurs est l'une des 50 mesures opérationnelles en faveur du développement des énergies renouvelables, annoncées suite aux engagements du Grenelle Environnement.

Il a pour objectif d'aider financièrement au développement de la production de chaleur à partir des énergies renouvelables (biomasse, géothermie, solaire) par le remplacement ou la création de nouvelles installations et de diversifier ainsi les approvisionnements en énergie pour renforcer l'indépendance énergétique de la France.

**Dans le cadre du projet de loi sur la transition énergétique pour la croissance verte, le doublement progressif du fonds chaleur pour atteindre 420 millions d'euros d'ici 2017 a été annoncé.** Son champ d'action est élargi pour accompagner plus de projets en faveur de la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Cet outil financier complète les dispositifs d'aide actuels et s'intégrera dans les projets des Schémas Régionaux du Climat, de l'Air et de l'Energie à venir. Il est destiné aux entreprises (industrie, tertiaire, agriculture), aux collectivités et à l'habitat collectif.

La gestion de ce fonds est confiée à l'ADEME et ses délégations régionales. L'ADEME inscrit les objectifs des aides aux énergies renouvelables dans le cadre de ses missions fixées par le code de l'environnement (articles L. 131-3, R.131-2 et R131-3).

En particulier, l'ADEME a pour mission de susciter, animer, coordonner, faciliter et, le cas échéant, réaliser toutes opérations ayant pour finalité la réalisation d'économie d'énergie et de matières premières et le développement des énergies renouvelables. La Région Ile de France agit sur ce sujet en partenariat avec l'ADEME.

Le principe du Fonds Chaleur qui sous-tend le calcul des aides attribuées dans le cadre de ce fonds est de **permettre à la chaleur renouvelable d'être vendue à un prix inférieur d'au moins 5%** à celui de la chaleur produite à partir d'énergie conventionnelle.

Le fond de chaleur concerne la géothermie sur aquifère profond : réalisation d'un doublet (ou autre configuration spécifique) et/ou la création d'un réseau de chaleur associé ; réalisation d'un doublet (ou autre configuration spécifique) et l'adaptation d'un réseau de chaleur existant ; mise en œuvre d'une réinjection en aquifère sur une opération existante ; réalisation d'un doublet sur un aquifère profond peu connu avec (ou sans) création d'un réseau de chaleur associé et/ou avec (ou sans) la mise en place d'une pompe à chaleur ; transformation d'un ancien puits pétrolier pour une valorisation thermique de l'eau chaude produite avec (ou sans) la mise en place d'une pompe à chaleur.

Le niveau d'aide est déterminé au cas par cas, suite à l'instruction du dossier de demande et à l'analyse économique du projet. Il peut être seul, ou en combinaison avec des crédits régionaux et le fonds européen de développement régional (FEDER).

Les aides du Fonds Chaleur ne sont pas cumulables avec les Certificats d'Economie d'Energie lorsque ceux-ci portent sur le même objet que l'aide du Fonds Chaleur.

L'aide aux investissements peut être complétée par une aide spécifique pour le financement de l'opération d'assistance Maîtrise d'Ouvrage pour accompagner le maître d'ouvrage tout le long de l'opération.

L'octroi des aides est subordonné à l'adhésion de l'opération au fonds de garantie abondé par l'ADEME et la Région d'Ile de France, ainsi qu'à la validation de l'analyse économique du projet par un Comité Technique ADEME-Région.

**Dans le cadre du projet de Bonneuil-sur-Marne qui correspond à l'abandon du puits GBL-1ST et à la réalisation d'un nouveau puits producteur GBL-4 pour constituer un doublet, un dossier de candidature sera déposé en 2016. L'ADEME ignore le montant de son aide. Les informations devraient être communiquées au maître d'ouvrage au cours de l'année 2017.**

**Pour ce qui concerne le FEDER et l'aide de la Région, l'attribution de ces subventions est également déterminée au cas par cas, après l'instruction d'un dossier de demande et l'analyse économique du projet.**

#### *1.5.1.2. Fonds de garantie géothermie*

Précisées dans le Plan Régional pour la relance de la Géothermie en Ile de France, elles visent à mutualiser les risques respectivement miniers (échec géologique) et d'exploitation (pérennité de la ressource, dommages liés à la thermochimie du fluide géothermal) selon les modalités suivantes :

- **Fonds Court Terme** (couverture du risque géologique)

Dans le cas d'un doublet, les grandes lignes sont les suivantes :

- Garanties : échec des forages (les débits ou températures escomptés ne sont pas vérifiés).
- Cotisation : 3,5 à 5 % du montant Hors Taxe d'un doublet de forage au DOGGER.
- Couverture :

Elle garantit la puissance thermique de l'installation selon les critères de température et de débit exploitable et injectable. Elle prend en charge jusqu'à 65% des coûts assurés et supportés par le maître d'ouvrage, c'est-à-dire hors subventions. Ce pourcentage peut être porté à 90% grâce à une couverture additionnelle de 25% proposée par certaines régions françaises. Le montant plafond garanti par forage

est de 4,2 M€ pour des cotisations comprises entre 3,5% et 5% (selon le risque minier) du montant garanti. En cas d'échec partiel d'un des deux forages du doublet (puissance thermique avérée inférieure à 85% de la puissance thermique escomptée), le montant de l'indemnisation est égal à une fraction du montant maximal garanti.

- **Fonds Long Terme** (couverture du risque thermochimique)
  - Garanties : pérennité de la ressource (en terme de débit et de température), dommages aux puits d'origine géologique ou géothermique (dépôts, corrosion, colmatage, vieillissement du réservoir...).
  - Durée : 20 ans.
  - Cotisation : 15 000 €/an pour une opération sur le Dogger dans le Bassin Parisien (montant en vigueur au 1<sup>er</sup> janvier 2015).
  - Couverture :

Elle couvre la valeur des puits au moment du sinistre, celle de la boucle géothermale ainsi que le débit et la température du fluide géothermique. Cette couverture est accordée en cas de déclaration de sinistre et dépend du degré de déperdition de la ressource. Elle est plafonnée à 1,4 M€ pour une cotisation fixe de 15 k€/an et une durée de garantie long terme fixée à 20 ans.

**Dans le cadre du doublet actuellement exploité, le syndicat mixte SETBO n'a pas souscrit de police d'assurance auprès de la SAF Environnement (Organisme ADEME - Caisse des Dépôts et Consignations).**

**Néanmoins, le syndicat mixte SETBO fera une demande de contrat SAF court terme pour le nouveau puits GBL-4 dès l'établissement de l'arrêté préfectoral. Cette police d'assurance couvrira les risques géologiques liés aux travaux puis une demande SAF long terme sera faite pour couvrir ceux liés à la ressource après la réalisation du forage.**

### *1.5.2. Analyse de rentabilité*

Sur la base des hypothèses de calcul de la configuration d'exploitation [doublet GBL-4/GBL-3 (240 m<sup>3</sup>/h ; 79°C)] ainsi que des CAPEX (net) et OPEX afférent, les ratios économiques et financiers selon deux hypothèses (avec ou sans subvention chaleur) s'établiraient comme suit :

1) Pour un prix de vente de la chaleur à 57€ HT :

Valeur actualisée nette (VAN) .....	2 550 k€ HT
Taux de rendement interne (TRI) .....	8,98 %
Temps de retour actualisé (TRA) .....	10 ans

2) Dans l'hypothèse où le projet serait retenu pour le fond chaleur et après déduction des aides et subventions éligibles à hauteur de 1 000 k€ HT, pour un prix de vente de la chaleur à 55€ HT :

Valeur actualisée nette (VAN) .....	3 160 k€ HT
Taux de rendement interne (TRI) .....	10,7%
Temps de retour actualisé (TRA) .....	9 ans

## 1.6. Planning prévisionnel du projet

Le planning détaillé du projet figure en Annexe 5. Les grandes échéances du projet seront :

- L'instruction du dossier PERDOTEX programmé sur une durée de 10 mois à compter de Février 2016, dont une partie mobilisée par l'enquête publique et l'examen des communes limitrophes concernées. Pour rappel, le périmètre du permis de recherche objet de cette demande est identique à celui accordé en 2012.
- La phase d'étude d'une durée de trois mois, qui inclut les missions normalisées de maîtrise d'œuvre, respectivement projet (PRO), EXE (études particulières spécifiques) dossier de consultation des entreprises (DCE) et ACT (assistance à contractualisation) qui se conclura en premier lieu par la passation des marchés de Génie Civil plateformes, avant-puits de forage et lots associés.
- La phase travaux (forage, abandon, boucle géothermale, centrale), prévue de mars à octobre 2017, soit huit mois, qui permet d'envisager une mise en service opérationnelle au mois de novembre 2017.

## 1.7. Conditions réglementaires d'accès à la ressource

Ce chapitre présente les contraintes réglementaires auxquelles est soumis le projet d'exploitation du doublet géothermique de Bonneuil-sur-Marne selon deux niveaux :

- la procédure réglementaire afin d'obtenir successivement les permis de recherche de gîte géothermique, d'ouverture de travaux, puis d'exploitation ;
- les permis d'exploitation de gîte géothermique au Dogger déjà existants dans le secteur.

Les textes réglementaires applicables sont les suivants :

### • Phase Projet :

- Les gîtes géothermiques relèvent du code Minier (nouveau) : Article L112-1 Créé par Ordonnance n°2011-91 du 20 janvier 2011 et article 4 du Décret n°2006-649 du 2 juin 2006 modifié par DÉCRET n°2015-15 du 8 janvier 2015 - art. 18.
- Les conditions administratives d'obtention des titres de recherche et d'exploitation sont précisées par le décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015 modifiant le décret n°78-498 du 28 mars 1978 et l'Article L124-4 créé par Ordonnance n°2011-91 du 20 janvier 2011 du code minier (nouveau).

### • Phase Travaux :

- Décret n° 2014-118 du 11 février 2014 modifiant le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains ainsi que l'annexe à l'article R. 122-2 du code de l'environnement ;
- Règlement Général des Industries Extractives (RGIE) : ce décret introduit le titre « Recherche par forage, exploitation de fluides par puits et traitement de ces fluides ».

Toutes les autorisations sont délivrées par arrêtés préfectoraux, y compris l'arrêt définitif des travaux d'exploitation du gîte (Article 124-4 et L162-1 du Code Minier (nouveau) et article 3 du décret n°2006-648 du 2 juin 2006 modifié par DÉCRET n°2015-15 du 8 janvier 2015 - art. 2).

### 1.7.1. Permis de recherche minier et permis d'exploitation

Les demandes règlementaires pour les deux permis sont étroitement liées. L'objectif du projet est la récupération de chaleur souterraine, assimilée à une substance minérale qualifiée de "gîte géothermique", **Code minier, article 3, titre V** intitulé « Des gîtes géothermiques à basse température », le gîte géothermique est considéré comme une mine, classé <150°C.

Les dispositions relatives aux titres miniers et aux autorisations sont précisées par l'**art. L124-4 (Livre Ier, Titre II, Chapitre IV)** : « Nul ne peut entreprendre un forage en vue de la recherche de gîtes géothermiques à basse température sans une autorisation de recherches accordée par l'autorité administrative. Cette autorisation détermine soit l'emplacement du ou des forages que son titulaire est seul habilité à entreprendre, soit le tracé d'un périmètre à l'intérieur duquel les forages peuvent être exécutés. Sa validité ne peut excéder trois ans. » Fin de citation.

Les modalités administratives de demande d'autorisation de recherche, de permis d'exploitation ou de prolongation de permis sont décrites dans le **Décret n°78-498 du 28 mars 1978**. La demande d'autorisation de recherches d'un gîte géothermique doit être accompagnée d'une étude d'impact environnemental définie par les articles R.122-1 à R.122-16 du Code de l'Environnement.

L'exploitation des gîtes géothermiques fait l'objet du **Chapitre IV, (Titre III du Livre Ier du Code Minier)**. La demande de permis d'exploitation sera présentée après que les autorisations de recherche du gîte, puis d'ouverture des travaux ont été obtenues. La DRIEE accepte que ces deux demandes préalables soient présentées conjointement dans un seul document.

Le dossier de demande d'autorisation est adressé au Préfet. Lorsque la demande est jugée recevable, une enquête publique d'une durée minimale de 15 jours est diligentée dans chaque commune concernée par la demande. Sauf modification significative des emplacements des forages, des périmètres d'exploitation ou des débits calorifiques extraits, le permis d'exploitation ne nécessite pas de nouvelle enquête publique.

Il faut retenir des articles 134-4 à 134-9 du Code Minier que :

- Les gîtes géothermiques à basse température ne peuvent être exploités qu'en vertu d'un permis d'exploitation accordé par l'autorité administrative;
- Le titulaire d'une autorisation de recherches peut seul obtenir, pendant la durée de cette autorisation, un permis d'exploitation qui englobe les emplacements des forages autorisés ou qui est situé en tout ou en partie à l'intérieur du périmètre de cette autorisation. De plus, si ses travaux ont fourni la preuve qu'un gîte est exploitable et s'il en fait la demande avant son expiration, le titulaire de l'autorisation a droit à l'octroi d'un permis d'exploitation.
- Le permis d'exploitation confère un droit exclusif d'exploitation dans un volume déterminé, dit " volume d'exploitation ", défini par un périmètre et deux profondeurs. L'arrêté portant permis d'exploitation peut limiter le débit calorifique qui sera prélevé. Il peut également imposer toutes dispositions concernant notamment l'extraction, l'utilisation et la réinjection des fluides calorifères et des produits qui y seraient contenus et, plus généralement, les obligations relatives au respect des intérêts mentionnés à l'article L. 161-1. Il peut abroger l'autorisation de recherches dont dérive le permis d'exploitation, ou réduire les droits qui y sont attachés.
- Les dispositions des [articles L. 131-3 et L. 131-4](#) s'appliquent à l'exploitation des gîtes à basse température. A savoir que l'exploitation des mines est considérée comme un acte de commerce et que les mines sont immeubles. Sont aussi immeubles, outre les bâtiments des exploitations des mines, les machines, puits, galeries et autres travaux établis à demeure. Sont immeubles par destination les machines et l'outillage servant à l'exploitation. Les actions ou intérêts dans une société ou entreprise pour l'exploitation de mines sont meubles. Sont également meubles les matières extraites, les approvisionnements et autres objets mobiliers.
- La durée initiale de validité du permis d'exploitation ne peut excéder trente ans.

- L'arrêté initial portant permis d'exploitation ou un arrêté ultérieur de l'autorité administrative peut, à la demande du pétitionnaire, fixer un périmètre de protection à l'intérieur duquel peuvent être interdits ou réglementés tous travaux souterrains susceptibles de porter préjudice à l'exploitation géothermique. La détermination du périmètre de protection, lorsqu'elle n'est pas prévue par l'arrêté initial portant permis d'exploitation, est effectuée selon la procédure prévue à [l'article L. 124-5](#). Le périmètre de protection peut être modifié ou supprimé dans les mêmes formes que celles prévues pour sa détermination.

En outre, les obligations prévues à [l'article L. 121-4](#) s'appliquent à tous les gîtes géothermiques quelle que soit leur température :

« Tout titulaire d'un permis exclusif de recherches ou tout bénéficiaire de l'autorisation prévue au 2° de l'article L. 121-1 doit, sous peine des sanctions prévues au 4° de l'article L. 512-1, mettre à la disposition du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, sur sa demande et moyennant juste rémunération, les substances utiles à l'énergie atomique définies aux articles L. 111-3 et L. 311-2 sur lesquelles porte son permis ou son autorisation ou qui sont, dans un même gisement, connexes de celles sur lesquelles porte son permis ou son autorisation. »

### *1.7.2. Demande d'ouverture de travaux miniers*

L'ouverture des travaux de forage est soumise à autorisation administrative après enquête publique, sous la direction d'un Commissaire Enquêteur, et consultation des communes concernées, en application du **décret 2006-649 du 2 juin 2006**.

Le dossier doit être constitué des pièces prévues à l'article 6-I du décret qui reprend en grande partie ceux nécessaires à l'obtention de l'autorisation de recherche :

- 1° L'indication de la qualité en laquelle le dossier est présenté ;
- 2° Un mémoire exposant les caractéristiques principales des travaux prévus avec les documents, plans et coupes nécessaires et, lorsqu'il y a lieu, leur décomposition en tranche;
- 3° Un exposé relatif, selon le cas, aux méthodes de recherches ou d'exploitation envisagées;
- 4° L'étude d'impact définie à l'article R. 122-3 du code de l'environnement. Pour les injections de gaz naturel ou de gaz de pétrole liquéfié (GPL) en nappe aquifère contenant ou en contact avec de l'eau potable ou qui peut être rendue potable, l'étude d'impact doit, notamment, démontrer que l'injection est effectuée de manière à éviter tout risque présent ou futur de détérioration de la qualité des eaux souterraines concernées ;
- 5° Le document de sécurité et de santé prévu à l'article 28 ;
- 6° Un document indiquant, à titre prévisionnel, en vue de l'application des dispositions des articles 91 à 93 du code minier, les conditions de l'arrêt des travaux ainsi que l'estimation de son coût ;
- 7° Un document indiquant les incidences des travaux sur la ressource en eau et, le cas échéant, les mesures compensatoires envisagées ainsi que la compatibilité du projet avec le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux mentionné à l'article L. 212-1 du code de l'environnement.

### *1.7.3. Permis d'exploitation existants et périmètres concernés*

Le syndicat mixte pour la production et la distribution de chaleur à Bonneuil-sur-Marne (SETBO) est autorisé à poursuivre l'exploitation du gîte géothermique à basse température du Dogger (doublet actuel GBL-1ST/GBL-3 implanté sur la commune de Bonneuil-sur-Marne) jusqu'au 15 janvier 2028 selon l'arrêté préfectoral n°2014/6325 du 24 juillet 2014 (Cf. Annexe 1). Cependant, l'usure prématurée de l'ouvrage producteur GBL1-ST foré en 1985 et repris en sidetrack en 2009, ne permet plus de garantir l'étanchéité du puits (cf. Annexe 2 : CR de réunion du 24 Septembre 2014 à la DRIEE). Il est donc nécessaire d'abandonner ce puits.

Les coordonnées en Lambert 2 étendu des deux puits sont :

	Production GBL-1ST	Injection GBL-3
<b>Surface (têtes de puits)</b>	X= 610 856 Y= 2 418 855 Z= + 35 m NGF	X = 610 845 Y = 2 418 850 Z = + 35 m NGF
<b>Toit du réservoir (fond de puits)</b>	X = 610 877 Y = 2 417 945 Z = - 1 623 m NGF (-1709 m NGF)	X = 611 748 Y = 2 418 850,5 Z = - 1 633 m NGF (-1735 m NGF)

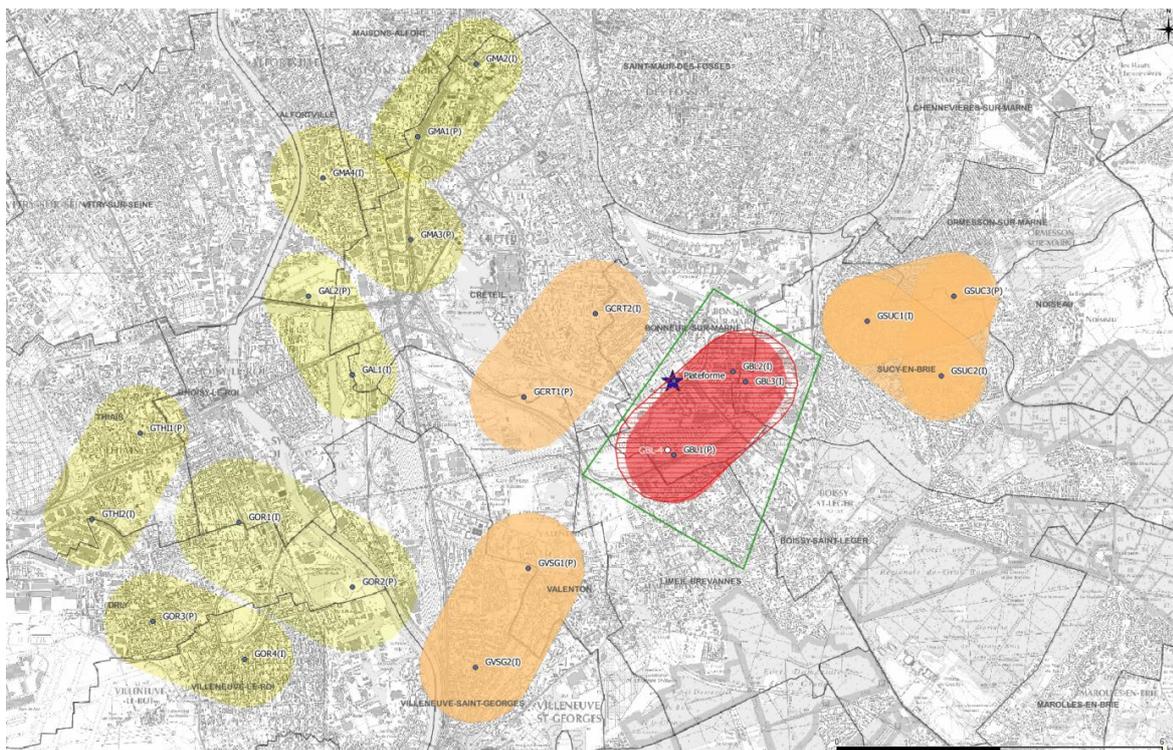
La distance entre les impacts des deux puits au toit du réservoir est de 1 256 m.

La partie de la nappe aquifère du Dogger sollicitée est constituée par les niveaux calcaires compris entre les cotes -1 633 m et - 1 735 m NGF, soit une hauteur de 102 m. Le volume d'exploitation est compris entre les plans horizontaux correspondants à ces deux cotes et a pour projection horizontale l'enveloppe convexe des deux cylindres verticaux centrés sur chaque impact des puits au toit du réservoir, de rayon  $d/2$ ,  $d$  étant la distance entre les verticales passant par ces impacts, soit une longueur de 1 200 m, une largeur de 1 600 m pour un volume total de 287 millions de  $m^3$  (Cf. Figure 2).

Ce périmètre du volume d'exploitation s'étend partiellement sur les communes de Bonneuil-sur-Marne, Boissy-Saint-Léger, Limeil-Brévannes et Sucy-en-Brie.

A proximité moins de 3 kilomètres du périmètre d'exploitation de Bonneuil-sur Marne se trouvent, au nord-est, le triplet de Sucy-en-Brie et à l'ouest, le doublet de Créteil. Au sud-ouest, à 3,5 kilomètres se trouve le doublet de Villeneuve-Saint-Georges (en Orange sur la Figure 2).

Le doublet de Bonneuil-sur-Marne se situe par conséquent dans une zone fortement sollicitée du Dogger et les modalités d'exploitation du futur doublet devront intégrer les éventuelles interférences avec les exploitations voisines précitées. C'est pourquoi le périmètre de recherche demandé est le même que celui accordé par arrêté préfectoral en 2012, et l'impact au réservoir planifié proche de celui de GBL1-ST de manière à minimiser les impacts que pourrait avoir cette nouvelle exploitation de la ressource.



**Figure 2 : Situation du doublet géothermique de Bonneuil-sur-Marne (gélule rouge) par rapport aux autres exploitations géothermiques au Dogger du Val de Marne**

#### 1.7.4. Durée relative à la demande formulée

La réglementation minière en vigueur prévoit les durées de validité/applications suivantes :

- Permis de recherche 3 ans ;
- Travaux miniers 3 ans après délivrance de l'autorisation préfectorale d'ouverture des travaux, si possible dans le cadre du permis de recherche, durée sujette à prolongation ou renouvellement sur la base d'un argumentaire documenté et recevable ;
- Délivrance du permis de recherche et d'autorisation d'ouverture de travaux : prévoir un délai de 10 à 12 mois suivant le dépôt du dossier.

#### 1.7.5. Permis d'exploitation envisagé suite à la recherche

A l'issue des travaux de forage du nouveau puits, en cas de succès du forage, une nouvelle demande de permis d'exploitation sera formulée pour une durée initiale de 30 ans. Le périmètre d'exploitation prévisionnel (Cf. gélule hachuré en rouge Figure 2) s'étend sur les communes de Bonneuil-sur-Marne, Limeil-Brévannes, Boissy-Saint-Léger et Sucy-en-Brie

#### 1.7.6. Contraintes liées au SDAGE Seine-Normandie et à la protection de l'aquifère de l'Albien/Néocomien

Les travaux doivent être réalisés dans le respect des dispositions du SDAGE et du SAGE en vigueur au voisinage du site d'implantation des installations.

Le SDAGE 2016-2021 est actuellement en phase de consultation, la référence utilisée sera celle du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du Bassin « Seine-Normandie » 2010-2015 adopté le 29 octobre 2009 par le comité de bassin et faisant suite au SDAGE

précédent de 1996. Ses dispositions prévoient une protection accrue de l'aquifère stratégique de l'Albien/Néocomien.

Le SAGE du bassin « Marne Confluence » dont dépend la commune de Bonneuil-sur-Marne n'est pas encore connu.

L'évaluation des risques vis-à-vis des eaux souterraines et des mesures compensatoires est réalisée Chapitre 4 Étude d'impact sur l'environnement. Les principales mesures sont les suivantes :

- En cours de forage la formulation et la rhéologie des boues (mixte bentonitique et polymères celluloses à densité faible) ne présentent aucun danger pour les formations aquifères en regard. En phase d'exploitation l'intégrité de ces aquifères est garantie par la double protection (tubage et complétion).
- Le suivi réglementaire DRIEE de la boucle géothermale, des tubages et de la complétion (diagraphies différées, traçage à l'eau douce) permet de détecter les indicateurs précurseurs de fuites/venues.
- la pratique, au départ de l'exploitation, de l'inhibition chimique du puits producteur et des conduites permet de se prémunir contre les dommages causés par la thermochimie corrosive et incrustante hostile du fluide géothermal comprenant une phase gazeuse dissoute enrichie en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>S.

## **1.8. Identification des risques et contraintes techniques et organisationnelles applicables au projet**

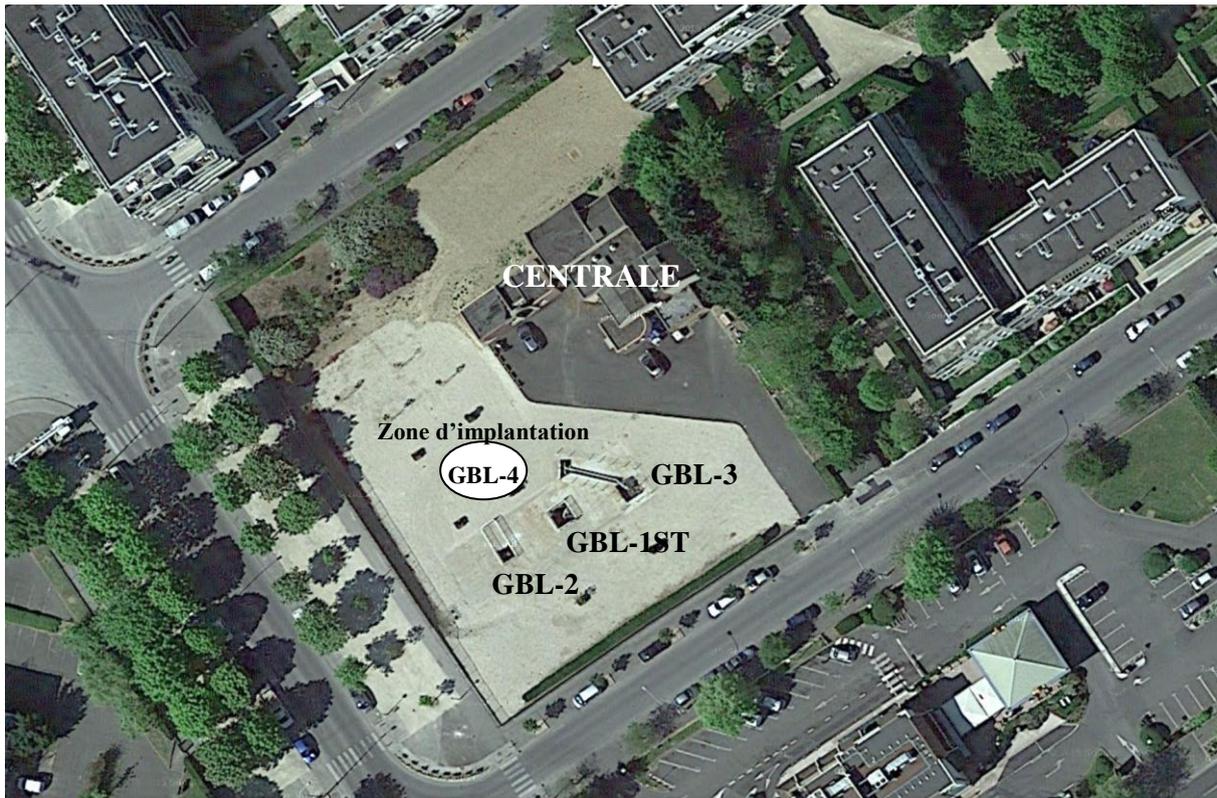
### *1.8.1. Les contraintes techniques et réglementaires*

#### *1.8.1.1. Les contraintes en surface*

La réalisation d'un puits foré en diamètre 12''<sup>1/4</sup> au Dogger (prévisionnel de 2068 mètres de profondeur forée), nécessite autour de la tête de puits, une aire vierge de végétation et de construction qui soit horizontale et traitée en voirie lourde. L'installation de l'appareil de forage sur le site est une difficulté majeure du projet. Cette installation devra prendre en compte deux aspects importants : l'exiguïté du site avec la préexistence de trois têtes de puits (Cf. Figure 3 ) et la proximité de riverains susceptibles de subir des nuisances pendant la phase travaux.

La future tête de puits sera à une distance d'environ 30 mètres de la centrale d'échange. Les canalisations chemineront en tranchée sur la parcelle en utilisant éventuellement le cheminement actuel des conduites de raccordement puits / centrale. La présence et la localisation précise des réseaux enterrés au droit du projet doivent être vérifiées avant travaux.

A l'issue des travaux, une aire de « servicing » d'au moins 1000 m<sup>2</sup> doit être ménagée autour des têtes de puits du doublet pour en assurer la maintenance. Le tracé final sera déterminé en fonction de la position effective du nouveau puits.



**Figure 3 : Schéma de principe d'implantation du nouveau puits à proximité des puits existants**

#### **1.8.1.2. Les contraintes de conception**

L'architecture du forage doit tenir compte de l'obligation de protection des aquifères de l'Albien et du Néocomien traversés pour atteindre la cible du Dogger. Ces aquifères « stratégiques », compte tenu de l'exceptionnelle qualité de l'eau qu'ils contiennent, doivent être isolés par une double protection. Le nouvel ouvrage sera réalisé dans les règles de l'art avec notamment un tube en acier tout le long du puits et une compléation en fibre de verre en face de tous les aquifères, a fortiori l'Albien et le Néocomien.

Une attention particulière sera portée sur les cimentations des tubages et sur leur contrôle au regard des aquifères sensibles.

L'ancien puits producteur GBL-1ST sera abandonné selon les règles de l'art. (Cf. §1.4.3)

#### **1.8.1.3. Les risques liés au forage**

Les formations superficielles sont généralement très perméables au droit des aquifères, les risques de perte totale de fluides de forage sont élevés, c'est pourquoi analyser et évaluer les choix du foreur pour cette opération est primordial.

L'inclinaison d'un ouvrage est génératrice de risque accru de coincement de la garniture de forage. Plus l'angle d'inclinaison est élevé plus le risque est fort. Le facteur de risque découle en réalité de la combinaison diamètre de forage/angle.

Dans le cas de Bonneuil-sur-Marne, afin d'écartier suffisamment l'impact du puits GBL-4 de l'impact du puits GBL1-ST à partir de la plate-forme des têtes de puits existante, l'inclinaison sera de 35°, en accord avec les conditions d'utilisation des matériaux composites.

Cette inclinaison est techniquement compatible avec un diamètre de forage en 17''1/4 des formations non consolidées de l'Albien et du Néocomien en particulier et avec l'utilisation de la fibre de verre pour la complétion.

### *1.8.2. Le risque géologique*

Des incertitudes sur les cotes des différents horizons géologiques traversés ou sur leur lithologie peuvent constituer un risque pour le projet.

La bonne connaissance de la structure du Bassin Parisien et la réalisation antérieure de quatre forages (GBL-1, GBL-1ST, GBL-2 et GBL-3) sur le site permettent de construire une coupe géologique prévisionnelle fiable. De plus, le suivi géologique en temps réel permet d'adapter le programme à l'avancement.

Le risque n'étant cependant pas nul, la couverture du risque par le fond court terme de la SAF environnement est conseillée. Ce risque minier sera matérialisé au sens des critères de succès/échec, dans les plages de débits/températures de têtes de puits. Ce document servira à l'établissement de la convention SAF court terme d'indemnisation du risque minier.

#### *1.8.2.1. Les contraintes liées à l'existant et à l'historique d'exploitation*

L'exploitation d'un doublet géothermique au Dogger impacte le réservoir sollicité ainsi que les formations géologiques traversées. Le gîte géothermique de Bonneuil-sur-Marne aura été exploité pendant 31 années (1985 – 2016) lors de la réalisation du nouveau puits.

Cette exploitation a impacté le Dogger où s'est développée une « bulle froide » autour des puits de réinjection (GBL-2 puis GBL-3). La localisation de cette bulle, son développement et son déplacement sous l'effet de la sollicitation future du réservoir sont autant de contraintes à intégrer dans le modèle de réservoir et les simulations menées dans le cadre de cette demande (Cf. §2.4) notamment pour la localisation des impacts au réservoir du nouvel ouvrage.

Par ailleurs et conformément au Code Minier (Cf. Paragraphe 1.6.1), tout nouveau projet au Dogger doit être conçu dans le respect des permis d'exploitation en vigueur à proximité du projet. Les études d'interférence et l'optimisation des impacts au réservoir minimisent le risque d'interférence avec les opérations voisines.

#### *1.8.2.2. Les risques hydrogéologiques*

Le projet devra tenir compte des variations régionales des paramètres hydrogéologiques et thermiques de l'aquifère du Dogger.

L'accès à l'aquifère du Dogger implique le percement de nappes sus-jacentes potentiellement productrices (Albien, Néocomien, Lusitanien). En cours de forage, des venues d'eau, ou au contraire des pertes de boue de forage, sont possibles au droit de ces formations. Une adaptation permanente des paramètres de forage est nécessaire.

L'aquifère du Dogger est artésien. Le forage du réservoir implique la mise en place de dispositifs particuliers de contrôle des éruptions (Bloc Obturateur de Puits - BOP).

### *1.8.3. Les contraintes d'organisation et de planification*

Elles sont de trois ordres, respectivement (i) la disponibilité d'appareils de forage, (ii) les délais d'approvisionnement de fournitures, et (iii) la variabilité des prix.

- **Disponibilité d'appareils de forage.** Seules deux entreprises de forage, disposant des classes d'appareil et dotations requis par l'objectif géologique, opèrent sur le marché français. Elles

sont fréquemment sollicitées ce qui peut poser des problèmes de programmation. Aussi, est-il recommandé de ménager dans les plannings prévisionnels une plage d'incertitude réaliste pour la phase forage. Le marché de forage étranger, peu sollicité pour l'heure, pourrait constituer une alternative plausible pour autant que l'entreprise puisse espérer un contrat multi-doubles justifiant son « expatriation », à l'image des initiatives lancées dans ce sens par Géochaleur lors du « boom » des années 1980.

- **Délais d'approvisionnement.** Ils peuvent atteindre plusieurs mois, voire une année en période de forte activité pétrolière et gazière (ce qui n'est pas le cas en 2015, les cours du pétrole étant au plus bas). Ils affectent les fournitures de tubage acier (et à fortiori en matériaux composites, classe *casing*), d'accessoires de cimentation [en particulier les anneaux de cimentation, DV, étagées hydrauliques], les équipements de pompage/électropompes de production immergées, EPI ; d'injection de surface, EIS) et accessoires hydrauliques (colonne d'exhaure, robinetterie/vannes) et électromécaniques (transformateur EPI, variateurs de fréquences EPI et EIS) pour lesquels les délais d'approvisionnement sont de l'ordre de 15 à 18 semaines. Ces contraintes impactent bien évidemment la planification des opérations au sens d'une plus grande flexibilité.
- **Variabilité des prix.** Si les coûts de régie d'appareils de forage connaissent une relative stabilité (de l'ordre de 25 000 €HT/j, fioul inclus, tarif T1 pour un appareil de capacité au crochet 200 t), il n'en va pas de même pour les services associés (forage dirigé, services boues, contrôle géologique, *mud logging*, cimentations, diagraphies différées, traitement des effluents...), dont les prix ont connu ces dernières années une escalade spectaculaire sous la double impulsion du rebond des activités d'exploitation/production pétrolière et gazière, du renforcement de la sécurité et des affectations/rotations du personnel, ces dernières particulièrement sensibles eu raison du droit social français, peu perméable à la spécificité des opérations minières, en particulier en matière de travaux postés (3x8h).

Un autre impact est la variabilité des prix des matières premières et matériaux, qui concernent principalement l'acier (tubages/compléments) et le titane (échangeurs de chaleur à plaques) sensibles aux fluctuations de la demande et à la pression du marché.

#### 1.8.4. Les contraintes de chantier

Elles procèdent principalement des sujétions liées au trafic routier aux abords du chantier, à l'activité continue de forage et des nuisances sonores, visuelles et olfactives qu'elles engendrent.

Le chantier entraîne inévitablement une intensification du trafic routier en phase d'amenée/montage/démontage/repli (DTM) de l'appareil de forage et de sa dotation, qui mobilise couramment de 50 à 60 colis pendant une durée de 8 à 10 jours (mobilisation/démobilisation), assurée par des transports poids lourds, semi-remorques surbaissées, en convois en partie exceptionnels.

Les approvisionnements en tubages, produits boue, ciment, outillages divers, les camions de diagraphies et les véhicules (camions, bennes et citernes) représentent un mouvement régulier de camions estimé à un minimum de 50 par phase, nécessitant une gestion rigoureuse des flux correspondants.

La nature postée (3x8h) du travail continu, 24h/24, 7j/7 interdit tout repos dominical ou férié, justifiant le cas échéant des dérogations.

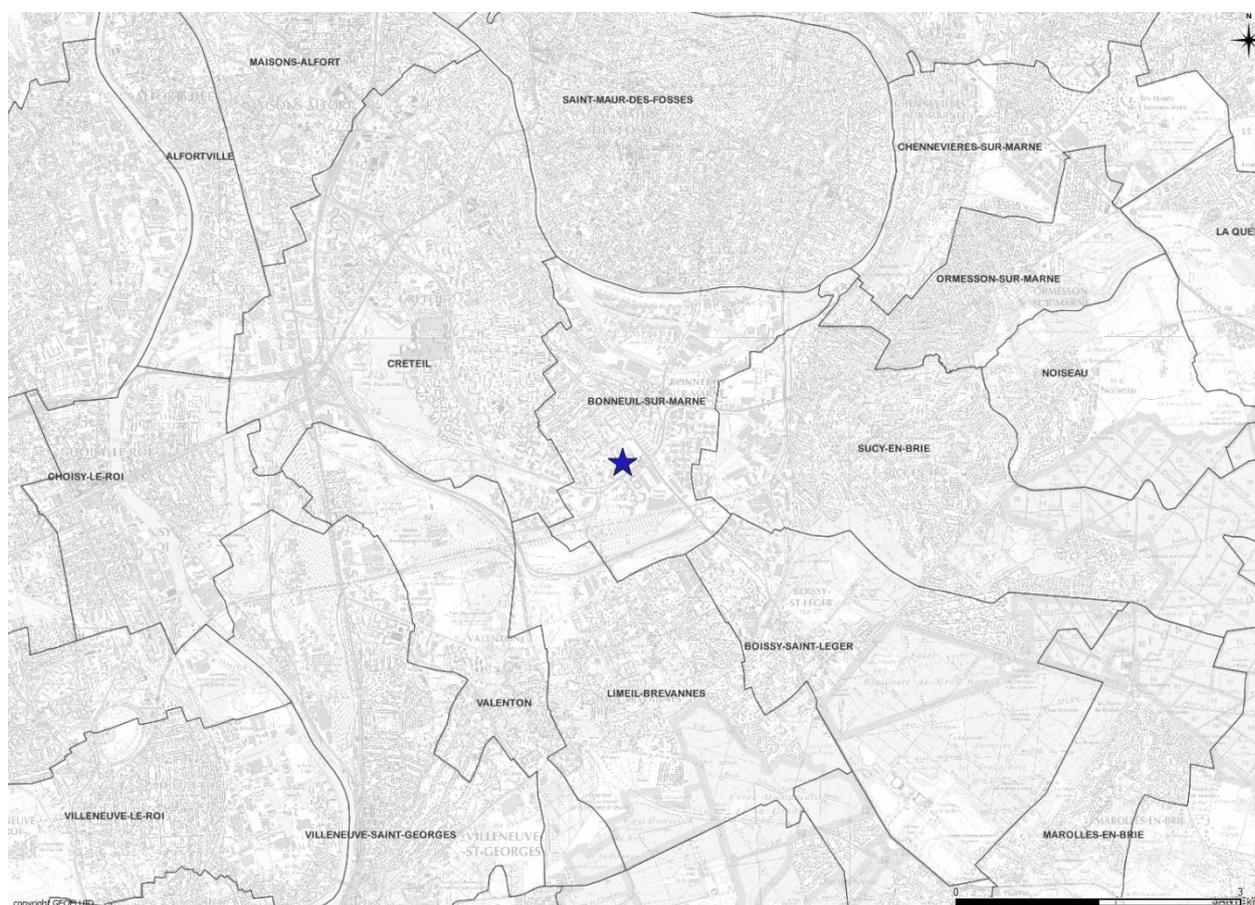
Le chantier est par ailleurs source de nuisances, au demeurant atténuées par le recours obligatoire à des motorisations électriques et hydrauliques, des protocoles de traitement (déshydratation, floculation) des boues (de formulations compatibles avec le milieu naturel), de lavage des déblais, traitement par centrifugation des solides, compactage et ennoyage ciment des résidus solides, et de neutralisation (hypochlorite, Javel) des émanations de H<sub>2</sub>S par ailleurs contrôlées vis-à-vis des seuils de toxicité. Ces contraintes sont abordées dans le chapitre 4 de ce document, consacré à l'impact du projet sur l'environnement.

## 2. DEMANDE D'AUTORISATION DE RECHERCHE D'UN GITE GEOTHERMIQUE AU DOGGER

### 2.1. Localisation du secteur d'étude

Située au sud-est de Paris, à 12 km de la Porte de Bercy, la commune de Bonneuil-sur-Marne est au centre du département du Val-de-Marne. Les communes limitrophes sont Créteil à l'ouest, Saint-Maur-des Fossés au nord, Sucy-en-Brie à l'est et Limeil-Brevannes et Boissy-Saint-Léger au sud (cf. Figure 4).

Le site d'implantation du doublet géothermique est la propriété de la Ville de Bonneuil-sur-Marne qui l'a mis à disposition du syndicat mixte SETBO pour y réaliser un doublet géothermique.



**Figure 4 : Localisation du secteur d'étude et du site d'implantation (étoile) – Limites des communes (trait noir)**

La tête du nouveau puits de Bonneuil-sur-Marne sera située dans l'enceinte de la centrale géothermique située sur la commune de Bonneuil-sur-Marne (Cf. Figure 5). Ce site est encadré par la rue Gabriel Péri, la rue Bouglione et l'avenue Jean Moulin à Bonneuil-sur-Marne.



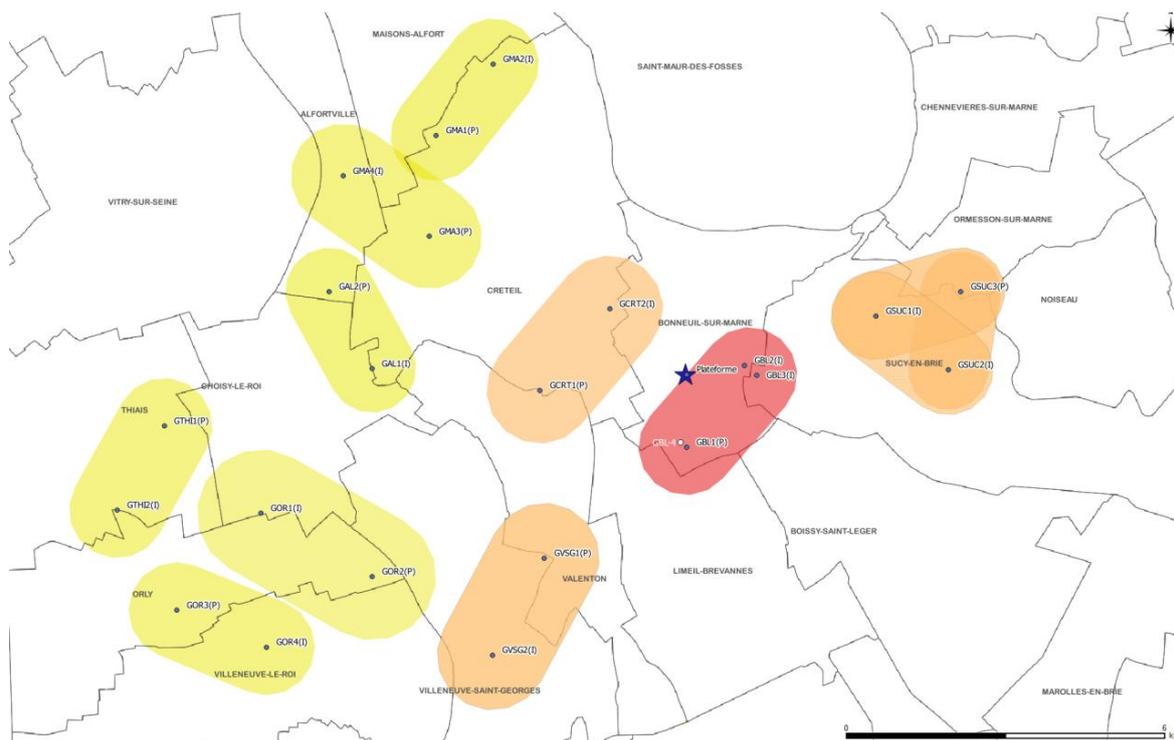
**Figure 5 : Plan et accessibilité de la centrale (étoile bleue) et du site d'implantation du nouveau puits à proximité des puits existants**

## 2.2. Sollicitations actuelles de l'aquifère du Dogger dans les environs du secteur d'étude et emprise prévisionnelle du projet

### 2.2.1. Sollicitations actuelles de l'aquifère du Dogger dans les environs du secteur d'étude

Le doublet de Bonneuil-sur-Marne (GBL-1ST/GBL-3) présent dans le secteur d'étude est exploité depuis 2014, le doublet précédent (GBL-1/GBL-2) était exploité au préalable depuis 1985. Il est situé à environ 3 km du triplet de Sucy-en-Brie au nord-est, à 2 km du doublet de Créteil à l'ouest et à 3,5 km du doublet de Villeneuve Saint Georges au sud-ouest (Cf. gélule rouge Figure 6). Aucune exploitation au Dogger n'est présente au Sud-Est.

L'implantation de GBL-4 et la modification du périmètre d'exploitation qu'elle induit tient compte de ce contexte (Cf. Gélule hachurée en rouge Figure 7).



**Figure 6 : localisation des doublets à proximité du site de Bonneuil (en rouge). Les exploitations à proximité immédiate sont en orange (Créteil, Villeneuve-Saint-Georges et Sucy-en-Brie), les plus éloignées en jaune (Orly, Thiais, Maisons-Alfort, Alfortville)**

### 2.2.2. Définition du périmètre du permis de recherche d'un gîte géothermique au Dogger

Le périmètre sur lequel est demandé l'autorisation de recherche d'un gîte géothermique est assimilable à un quadrilatère orienté selon une direction nord-est/ sud-ouest (Cf. quadrilatère vert Figure 7), d'une superficie de 5,33 km<sup>2</sup>. Les coordonnées des angles du permis sollicité sont reportées dans le Tableau 4. Ce périmètre est similaire à celui qui avait été accordé pour GBL-3 en 2012.

**Tableau 4 : Coordonnées du permis de recherche sollicité**

Coordonnées des angles du périmètre	Coordonnées Lambert II étendu	
	X(m)	Y(m)
Nord – Ouest	X <sub>1</sub> : 611 360	Y <sub>1</sub> : 2 419 980
Nord – Est	X <sub>2</sub> : 612 670	Y <sub>2</sub> : 2 419 160
Sud - Est	X <sub>3</sub> : 611 730	Y <sub>3</sub> : 2 416 550
Sud – Ouest	X <sub>4</sub> : 609 770	Y <sub>4</sub> : 2 417 700

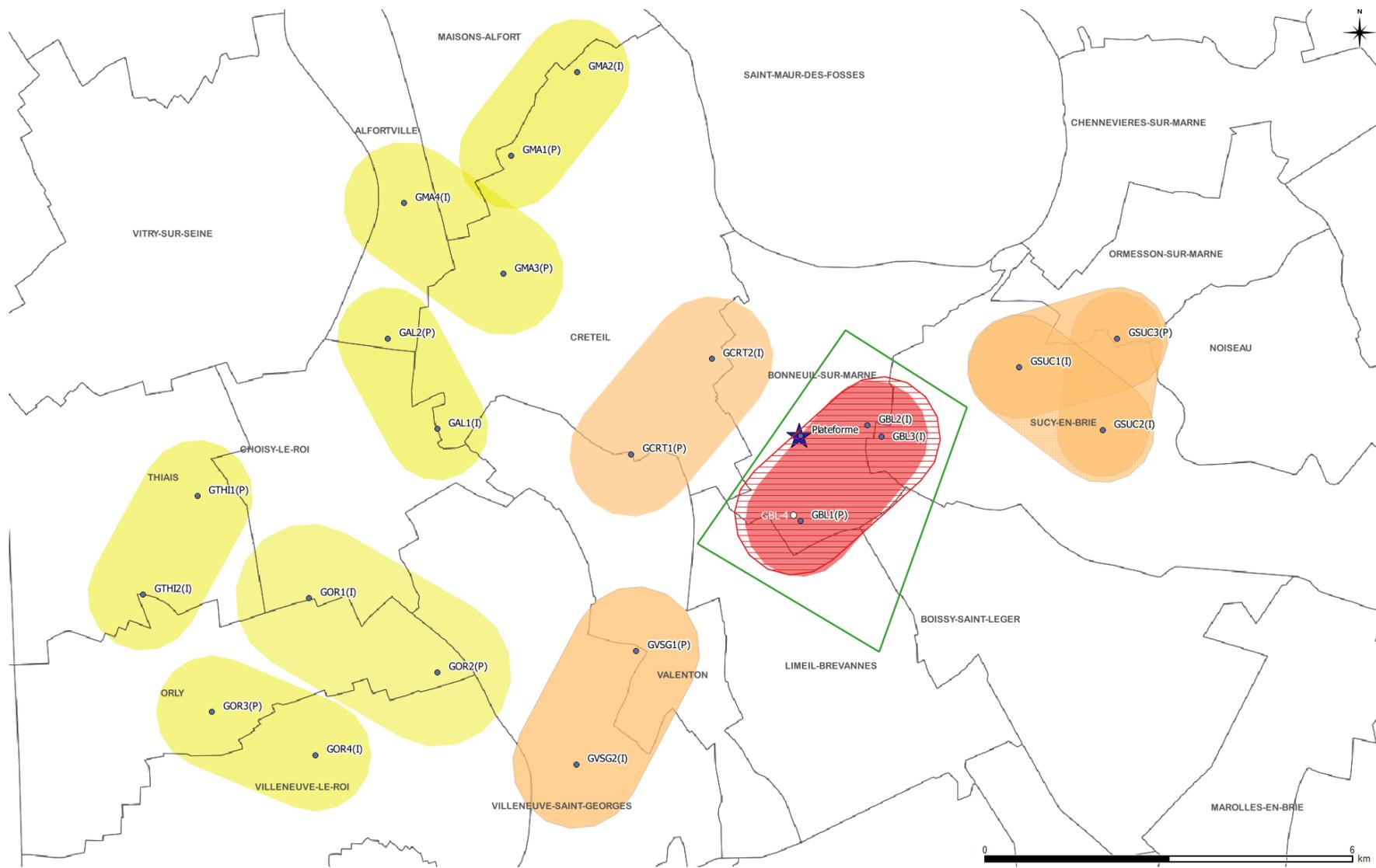


Figure 7 : Emprise du permis de recherche (en vert), nouvelle gélule d'exploitation prévisionnelle hachurée en rouge

Le périmètre défini pour le permis de recherche porte sur les cinq communes suivantes du Val de Marne :

- Bonneuil-sur-Marne ;
- Sucy-en-Brie ;
- Boissy-Saint-Léger ;
- Limeil-Brévannes ;
- Créteil.

L'impact du quatrième puits est situé à l'ouest du puits producteur GBL-1ST afin de s'écarter au maximum de la bulle froide développée au droit du puits injecteur GBL-2 puis de GBL-3 depuis 2014 et de bénéficier des meilleurs caractéristiques du réservoir (notamment la transmissivité).

Les coordonnées de l'implantation de la tête du puits GBL-4 en Lambert II étendu prévisionnelles sont les suivantes :

$$X = 610\ 850$$

$$Y = 2\ 418\ 845$$

$$Z = +35\ \text{m NGF}$$

Les dimensions du périmètre de recherche permettent d'anticiper, dans une certaine limite, un éventuel changement du point d'implantation de la tête du puits GBL-4 en cas de besoin (incident technique survenant lors de la réalisation du forage par exemple, avec obligation de forer un nouveau puits).

La demande d'autorisation de recherche d'un gîte géothermique au Dogger concerne un périmètre qui porte sur 5 communes du même département : l'arrêté sera donc préfectoral.

## 2.3. Contextes géologique et hydrogéologique

### 2.3.1. Contexte géologique global

Le futur doublet géothermique de Bonneuil se situe dans l'unité géologique la plus grande du territoire français : le Bassin Parisien. Ce bassin sédimentaire est une dépression faiblement tectonisée qui s'est mise en place depuis le Permien jusqu'au Néogène. Les différentes strates reposent sur le socle Hercynien et sont empilées comme des « assiettes » (Cf. Figure 8). Elles sont légèrement déformées par une succession de synclinaux et d'anticlinaux, principalement en réponse aux événements tardi-orogéniques et longue distance de la compression alpine.

Les sédiments qui composent le Bassin Parisien proviennent d'environnements variés (marin, lacustre, lagunaire ou fluvial) et sont de nature diverses (sable, calcaire, évaporite, argile). Plusieurs niveaux aquifères et géothermiques sont rencontrés dans la succession stratigraphique et l'anomalie locale du gradient géothermique en Ile-de-France (3.6°C/100m), favorise leur exploitation (Cf. Figure 9).

Ainsi, les formations géologiques à l'affleurement sur le site et les alentours sont les suivantes, des plus récentes au plus anciennes :

- les formations du **Quaternaire**, constituant un faible recouvrement:
  - limon des plateaux ;
  - alluvions actuelles, subactuelles et anciennes ;
- les formations de l'Eocène supérieur (**Tertiaire**) apparaissant localement :
  - Bartonien supérieur (Ludien supérieur) : Marnes supragypseuses comprenant les Marnes blanches de Pantin et les Marnes bleues d'Argenteuil et formation du gypse ;
  - Bartonien supérieur (Ludien moyen et inférieur) : Calcaire de Saint Ouen – Marnes à Pholadomyes.

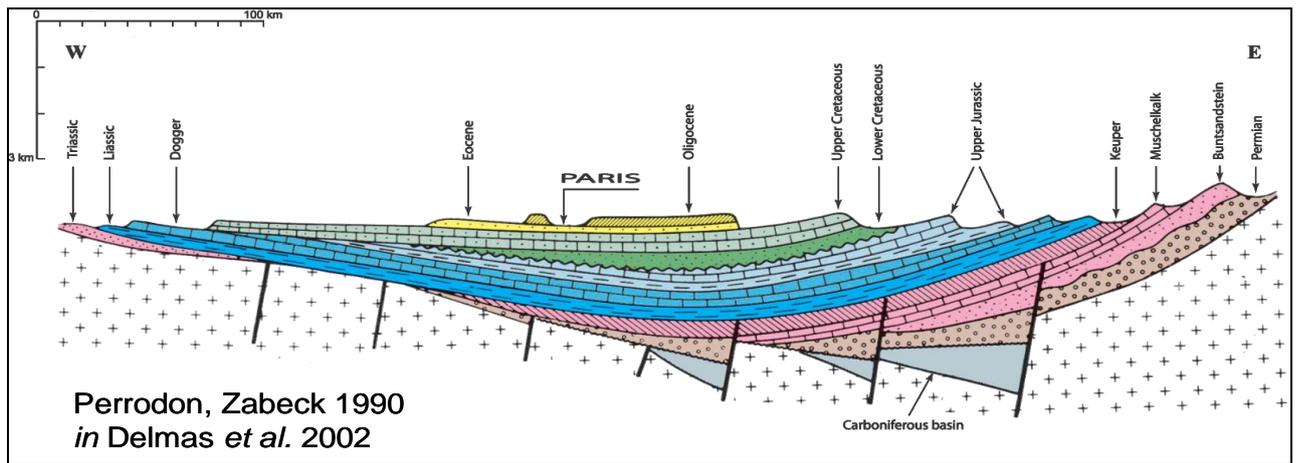


Figure 8 : Coupe géologique schématique du Bassin Parisien

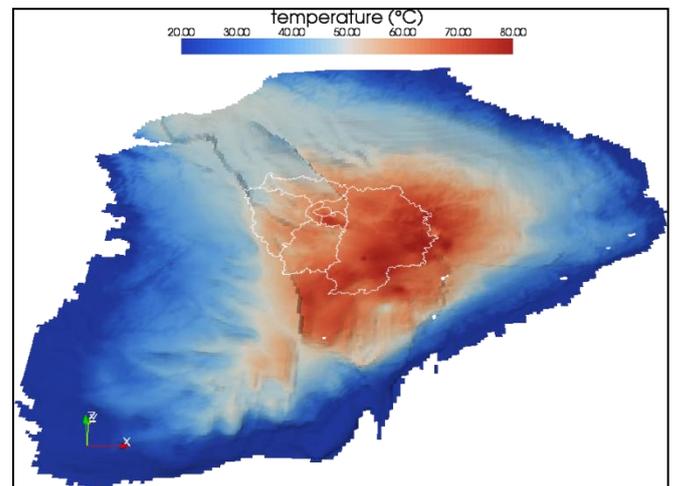
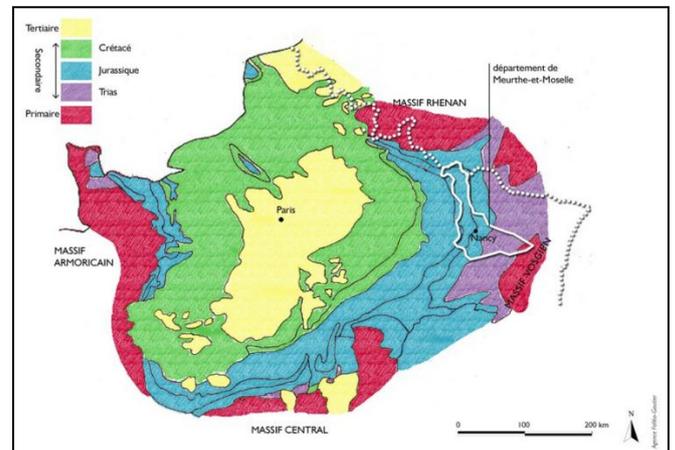
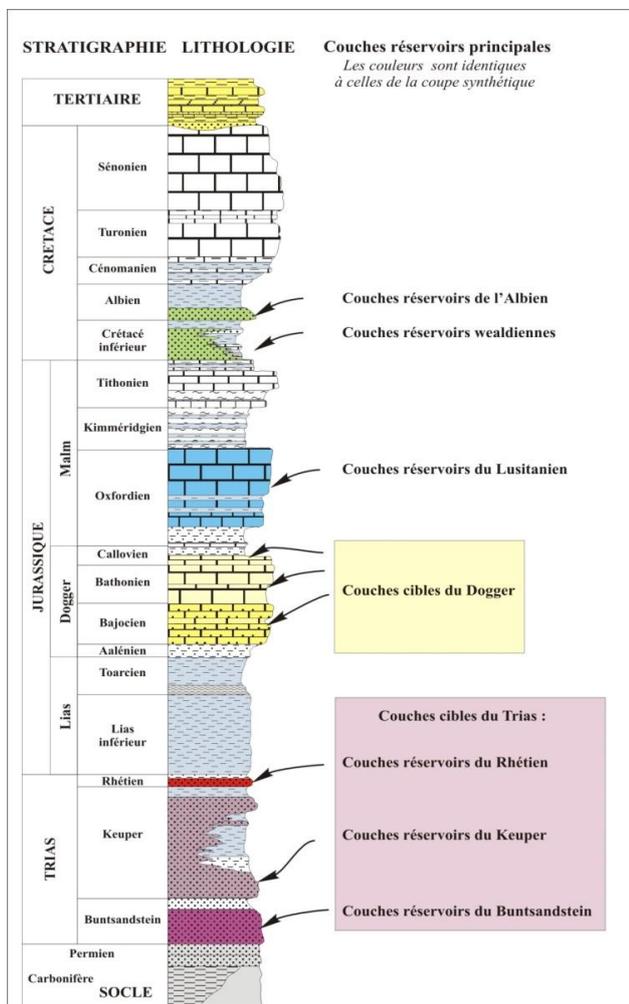


Figure 9 : Coupe stratigraphique du Bassin Parisien avec localisation des principaux aquifères et la carte du gradient géothermale (source BRGM, Département Géothermie)

Au droit du site, les terrains non affleurant, se poursuivent par les formations suivantes du **Tertiaire** :

- Bartonien : Calcaire de Saint-Ouen et Sables de Beauchamp ;
- Lutétien supérieur : Marnes et Caillasses ;
- Lutétien inférieur : Calcaire grossier moyen et inférieur ;
- Yprésien : formation sableuse dite des « Sables du Soissonais », puis argilo-sableuse « Fausses Glaises » et Argile plastique (Sparnacien).

Les formations du **Crétacé** sont ensuite représentées par :

- la Craie du Sénonien, Turonien et Cénomaniens ;
- les argiles de l'Albien supérieur (argiles du Gault) ;
- les Sables verts de l'Albien inférieur et de l'Aptien ;
- les formations argilo-sableuses et calcaires du Barrémien – Néocomien ;
- le calcaire et la dolomie du Purbeckien.

Les formations du **Jurassique** sont représentées par :

- les calcaires du Portlandien, les marnes du Kimméridgien et les calcaires de l'Oxfordien pour l'ensemble du Jurassique Supérieur (Malm) ;
- les argiles du Callovien, les **calcaires micritiques, graveleux et oolithiques du Bathonien** et les Marnes du Bajocien pour l'ensemble du Jurassique Moyen (Dogger).

Les formations carbonatées du Dogger (Jurassique moyen), et plus particulièrement du Bathonien supérieur, sont abondamment exploitées pour les besoins du chauffage urbain à base géothermique. On rappelle (les développements qui suivent font de larges emprunts à l'étude de référence de Rojas et al, 1989) qu'au Jurassique moyen se mettent en place des plateformes carbonatées, sous l'effet d'un comblement associé à une sédimentation calcaire active (supérieure au taux de subsidence) à un rythme séquentiel saccadé, qui atteint un paroxysme régressif à la fin du Bathonien/début du Callovien.

Au cours du Bathonien, des barrières oolithiques se développent sur les bordures du bassin, qui progressent vers le centre, en arrière desquelles se constitue une plateforme interne développant des faciès de type lagon (sédiments alternativement fins et graveleux).

Ce processus progresse de la Bourgogne à la Manche, l'édifice carbonaté étant bordé à l'Ouest par un sillon marneux et à l'Est par le domaine marin ouvert germanique. La série bathonienne traversée par les forages géothermiques correspond à la partie supérieure du complexe de plateforme où se développent au maximum les dépôts calcarénitiques.

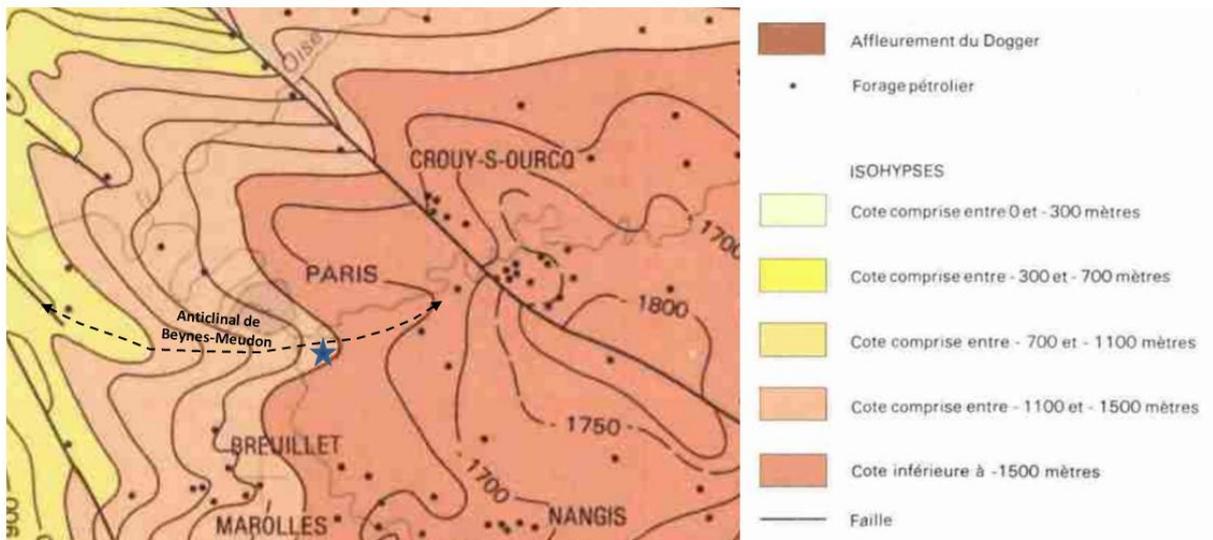
Dans le secteur qui nous intéresse la séquence stratigraphique des faciès réservoirs est constituée (du bas vers le haut) :

- (i) de l'ensemble dit des **Alternances**, constitué de séquences de marnes et de calcaires ;
- (ii) de l'édifice **oolithique** composé de calcarénites à porosité connectée élevée ; il s'agit du réservoir principal assurant l'essentiel de la production géothermique en Île-de-France, et
- (iii) de l'ensemble **Comblanchien** à porosité de matrice importante qui peut localement contribuer à hauteur de 10 % à la productivité du puits.

## 2.3.2. Contexte géologique du secteur d'étude

### 2.3.2.1. Contexte structural et géologique

La Figure 10 (modifiée d'après l'atlas, mémoire du BRGM n°102) montre la structure au toit des faciès calcaires du Dogger. Comme on peut l'observer, le doublet de Bonneuil se situe sur le flanc sud de l'anticlinal de Beynes-Meudon. De plus, l'axe de cet anticlinal plonge vers l'est ce qui implique un approfondissement de la formation du Dogger dans cette direction. Ainsi, à la verticale du doublet actuel de Bonneuil-sur-Marne, le toit du Dogger se situe à - 1 623 m NGF au droit de GBL-1 et respectivement à -1 632 et 1633 m NGF au droit de GBL-2 et GBL-3, soit une différence de profondeur de 9 à 10 mètres.



**Figure 10 : Structure au toit des faciès calcaires du Jurassique moyen (par F.Héritier et J.Villemin, 1971)**

### 2.3.2.2. Coupe géologique prévisionnelle au droit du secteur d'étude

La coupe géologique prévisionnelle synthétique est présentée en Figure 11. Elle a été conçue en fonction de l'impact au réservoir de l'ouvrage et sur la base de la coupe géologique de GBL-1, GBL-1ST, GBL-2 et GBL-3. Les profondeurs des formations géologiques peuvent légèrement varier en fonction de l'emplacement de ce nouvel ouvrage.

L'altitude de la tête de puits de GBL-4 est de +35 m NGF. La coupe ci-dessous présente le toit en profondeur verticale (0 mètre correspond au niveau du sol).

PUITS		Prévisionnel GBL-4	GBL-1	GBL-1ST	GBL-2	GBL-3	Description lithologique (en bleu les niveaux aquifères rencontrés dans GBL1)
Série stratigraphique		Toit (profondeur verticale TVD m/sol)					
Sous-système	Etage						
Tertiaire (Eocène)	Bartonien inf						Calcaire de St-Ouen
	Lutétien sup						Sable de Beauchamps
	Lutétien inf						Marne et caillasse
	Ypresien						Calcaire grossier
	Montien						Sables du Soissonnais (et de Breuillet ?) puis argile plastique
	Senonien						Marne de Meudon
Crétacé sup.	Senonien						Craie à Silex
	Turonien	539	539		547	588	Calcaire argileux
	Cénomaniens	640	640		643	639	Calcaire, marne silteuse
Crétacé Inf.	"Gault" (Albien sup.)	696	696		694	694	Argile, sable argileux
	Albo-Aptien	733	733		732	733	Sable argileux, argile, calcaire sableuse
	Barremien	841	841	838	840	841	Argile calcaire, sable argileux
	Néocomien	887	888	885	893	894	Sable, grès argile
Jurassique supérieur (Malm)	Purbeckien	992	993	990	995	995	Calcaire, dolomie
	Portlandien	1020	1021	1018	1022	1022	Calcaire sublithographique, Calcaire argileux, Calcaire gréseux
	Kimmeridgien	1135	1136	1133	1140	1138	Marne silteuse Calcaire argileux, Calcaire sublithographique
	Sequanien	1271	1272	1270	1277	1274	Calcaire avec niveaux oolithique
	Rauracien	1401	1403	1398	1406	1402	Calcaire + ou - graveleux argile calcaire
	Argovien	1484	1486	1481	1491	1495	Calcaire dolomitique Marne silteuse
	Oxfordien	1568	1570	1565	1579	1575	Calcaire micritique marne silteuse, grès
Jurassique moyen (Dogger)	Callovien	1618	1620	1615	1626	1623	Argile, marno calcaire
	Bathonien	1657	1658	1655	1667	1664	Calcaire micritique, Calcaire graveleux, Calcaire oolithique

Figure 11 : Coupe géologique prévisionnelle du puits GBL-4 et report des côtes des précédents forages du site de Bonneuil s/Marne

### 2.3.3. Contexte hydrogéologique du secteur d'étude

Plusieurs aquifères (nappes d'eau souterraines) sont présents au droit du site.

Les aquifères «superficiels» de l'Eocène au Néocomien sont traversés pour atteindre la cible du Dogger. Leurs localisations conditionnent la géométrie des ouvrages de manière à assurer leur protection et à respecter les contraintes réglementaires dont les aquifères peuvent faire l'objet. Ils conditionnent aussi, lors des opérations de forage, les programmes du fluide de forage (boue) et de cimentation des cuvelages.

L'aquifère du Dogger, cible du projet, doit être isolé des aquifères traversés par le forage.

### 2.3.3.1. Aquifères rencontrés par le forage : du Quaternaire à l'Albien /Néocomien

Au niveau régional, les aquifères du bassin de Paris présentent des caractéristiques très variables dues à leur changement d'épaisseur ou de faciès. Dans le secteur d'étude, sous les alluvions, quatre formations potentiellement aquifères sont traversées avant d'atteindre le Dogger :

- la **nappe du Calcaire de Saint-Ouen** et des Sables de Beauchamp de l'Eocène supérieur ;
- la **nappe de l'Eocène moyen et inférieur** : ces eaux minéralisées peuvent se rencontrer au niveau des calcaires sableux de la base du Lutétien (Calcaire grossier dont le toit est estimé à une profondeur de 70 mètres) ainsi qu'à la base des sédiments de l'Yprésien ;
- la **nappe de la Craie** : cette nappe, importante au niveau du Bassin de Paris dans les zones à faible recouvrement et à l'affleurement, se situe en majorité dans la partie supérieure de la craie du Sénonien à la faveur de zones de fractures et/ou d'altérations ; généralement et c'est le cas au droit de Bonneuil-sur-Marne, le recouvrement du tertiaire lui confère une importance moindre ;
- la **nappe de l'Albien/Néocomien** : l'aquifère du Crétacé inférieur constitue, à l'échelle régionale une réserve d'eau potable de qualité chimique remarquable ; le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Seine- Normandie (2008), l'identifie comme une nappe d'importance stratégique ; l'imbrication de l'Albien et du Néocomien à l'échelle régionale conduit cependant à prendre en compte l'ensemble de ce système hydrogéologique comme un aquifère stratifié constitué de sables et grès séparés par des niveaux plus ou moins argileux.

Au droit des forages de Bonneuil-sur-Marne, les sables de l'Albien sont identifiés à profondeur verticale de 733 mètres avec une épaisseur d'environ 110 mètres (Cf. Figure 12).

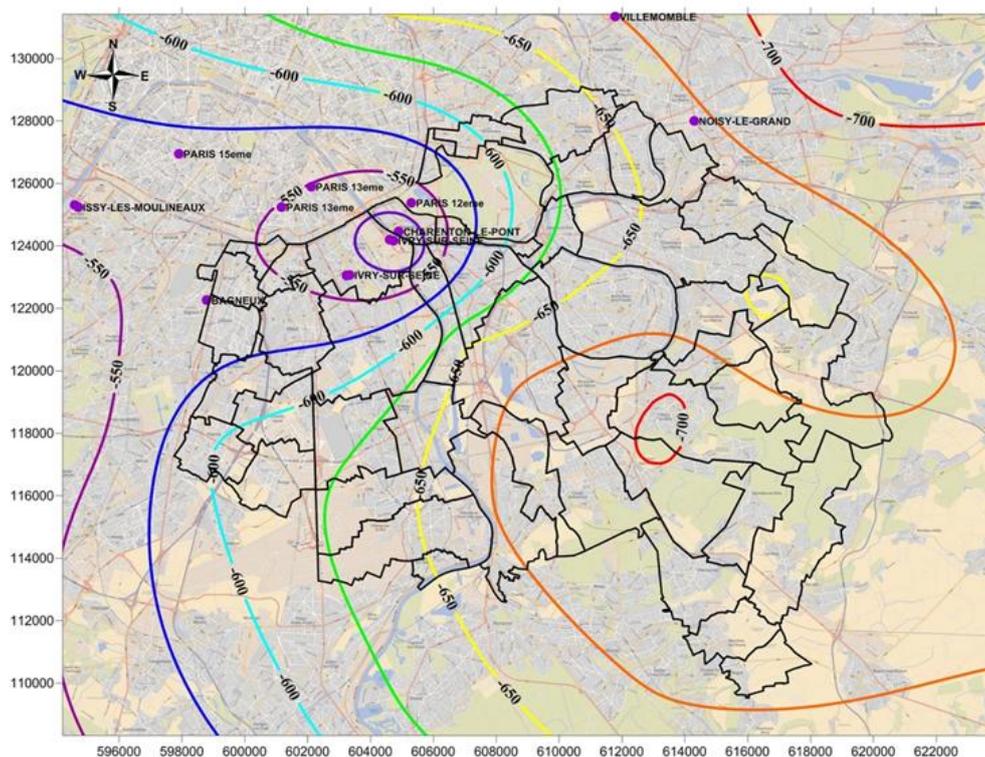


Figure 12 : toit du réservoir Albien dans le Val de Marne (source : BRGM)

La description détaillée de ces aquifères est reportée dans la partie concernant l'étude d'impact sur l'environnement et plus particulièrement dans le chapitre relatif à l'incidence des travaux sur les ressources en eau et la compatibilité du projet avec le SDAGE Seine-Normandie (Cf. Paragraphe 4.4).

*NB : La réalisation de ce nouvel ouvrage à tubage de soutènement en acier et complétion en matériaux composites permettra de répondre aux exigences réglementaires. En effet cette solution innovante ne nécessite pas de traitement inhibiteur en fond de puits pour la complétion et permet une double protection (tube en acier cimenté et complétion en matériaux composites) des aquifères sensibles (Albien et Néocomien).*

### **2.3.3.2. Aquifère du Dogger**

Les calcaires du Dogger, avec environ 120 forages réalisés à ce jour, représentent un des réservoirs géothermiques basse température les plus développés au monde.

#### **Extension**

Le Dogger s'étend sur environ 150 000 km<sup>2</sup>, soit la quasi-totalité du Bassin Parisien, et affleure sur ses bordures qui constituent les zones principales de recharge (cf. Figure 9).

Les faciès perméables ont surtout été mis en évidence dans le secteur délimité par un quadrilatère dont les sommets seraient Fontainebleau, Cergy-Pontoise, Creil et Meaux. Au sud-ouest de ce secteur apparaît un sillon marneux très peu productif, le long d'une diagonale Rouen-Nevers.

#### **Paramètres réservoirs des puits actuels**

Le Tableau 5 récapitule les principaux paramètres réservoir, mesurés sur les puits GBL-1, GBL-2 et GBL-3 directement après forage. Pour la suite de l'étude, les paramètres du puits GBL-1ST sont assimilés comme semblable à ceux de GBL-1, hormis pour la valeur du skin prise comme égale à -2 (valeur moyenne mesurée en fin de forage des puits géothermiques en 12''<sup>1/4</sup> au Dogger du Bassin Parisien).

Les données des puits du doublet de Créteil, GCRT-1 et GCRT-2, sont aussi reportées en raison de leur importance dans la modélisation et dans l'évaluation des caractéristiques réservoirs dans l'environnement proche de Bonneuil-sur-Marne.

Le réservoir du Dogger à Bonneuil-sur-Marne se caractérise par une très bonne transmissivité, une température de gisement et une pression artésienne élevées. Combinés à une cote altimétrique faible, ces paramètres conduisent à des performances de production parmi les plus favorables du Dogger en Ile de France.

**Tableau 5 : Principaux paramètres réservoir des puits GBL-1, GBL-2, GBL-3 et des puits voisins de Créteil (GCRT-1 et GCRT-2)**

Paramètres	GBL-1	GBL-2	GCRT-1	GCRT-2	GBL-3
Transmissivité	75 D.m	72 D.m	30 D.m	33 D.m	NC
Température maximale enregistrée	79,3 °C	79,7 °C	78,9 °C	78 °C	54°C
Facteur de skin après forage	-4,7	-4	-1,1	2,5	NC
Diamètre du puits au réservoir	8'' 1/2	8'' 1/2	8'' 1/2	8'' 1/2	6''
Pression artésienne mesurée	11 bars	10 bars	10 bars	9,6 bars	9,5 bars
Débit artésien maximal (fin de forage)	525 m <sup>3</sup> /h	440 m <sup>3</sup> /h	210 m <sup>3</sup> /h	255 m <sup>3</sup> /h	150 m <sup>3</sup> /h
Hauteur cumulée productrice	13,5 m	27 m	14,75 m	23,5 m	NC
Porosité	20%	20%	15 %	15 %	NC
Salinité moyenne	22 g/l	25 g/l	20 g/l	17,6 g/l	24 g/l

### Lithologie et niveaux producteurs

Les horizons perméables du Bathonien constituent la cible du projet. Au niveau des puits GBL-1/GBL-2 de Bonneuil sur Marne, quatre ensembles sont présents :

- **l'ensemble gravelo-micritique ou Comblanchien** ; C'est une zone majoritairement compacte composée de calcaire graveleux et de calcaires micritiques ; Seul le puits GBL-2 comporte un niveau producteur dans cette formation fournissant 10 % du débit total ;
- **l'ensemble graveleux** ; Il comprend dans la partie supérieure des calcaires graveleux et des pseudo-oolithes très mal cimentés et à la base une zone à faible porosité ; La partie supérieure fournit 30 à 80 % du débit total pour GBL-2 et GBL-1 respectivement, sur 3 à 4 niveaux producteurs ;
- **l'ensemble oolithique et graveleux** ; Il comprend un faciès oolithique dominant, avec des oolithes que l'on trouve sous forme libre ou en agglomérats ; Cet ensemble fournit de 20 à 60 % du débit total pour GBL-1 et GBL-2 respectivement ;
- **l'ensemble gravelo-oolithique, micritique et bioclastique** ; Cet ensemble hétérogène ne présente pas de niveaux producteurs.

En négligeant les niveaux producteurs du premier ensemble, les niveaux producteurs se répartissent sur 40 mètres de hauteur environ.

Bien qu'il y ait une bonne correspondance au niveau de la lithologie entre les trois puits de Bonneuil-sur-Marne, on constate un fort décalage entre les niveaux producteurs : 80 % du débit total de GBL-1 est fourni par l'ensemble graveleux tandis que 60 % du débit total de GBL-2 est fourni par l'ensemble oolithique et graveleux.

Le doublet de Créteil situé à 2-3 km présente une forte variation dans la localisation des niveaux producteurs et la lithologie du réservoir par comparaison avec les faciès observés sur Bonneuil-sur-Marne. Le niveau oolithique et graveleux a quasiment disparu et le niveau producteur principal est situé à la limite entre le bas de l'ensemble gravelo-micritique et le haut de l'ensemble graveleux.

## Caractéristiques hydrodynamiques du réservoir

Pour un débit d'exploitation donné, le rabattement de la nappe est un paramètre directement lié à la transmissivité du réservoir.

Les disparités géologiques perçues entre les puits de Créteil et ceux de Bonneuil-sur-Marne se retrouvent sur les valeurs de transmissivité. En effet, comme on peut le voir sur la figure suivante, la transmissivité décroît d'est en ouest avec 75 D.m. au niveau de Bonneuil-sur-Marne et 30 D.m. au niveau de Créteil. A l'opposé, l'opération de Sucy-en-Brie présente des valeurs remarquables de transmissivité de l'ordre de 100 à 110 D.m.

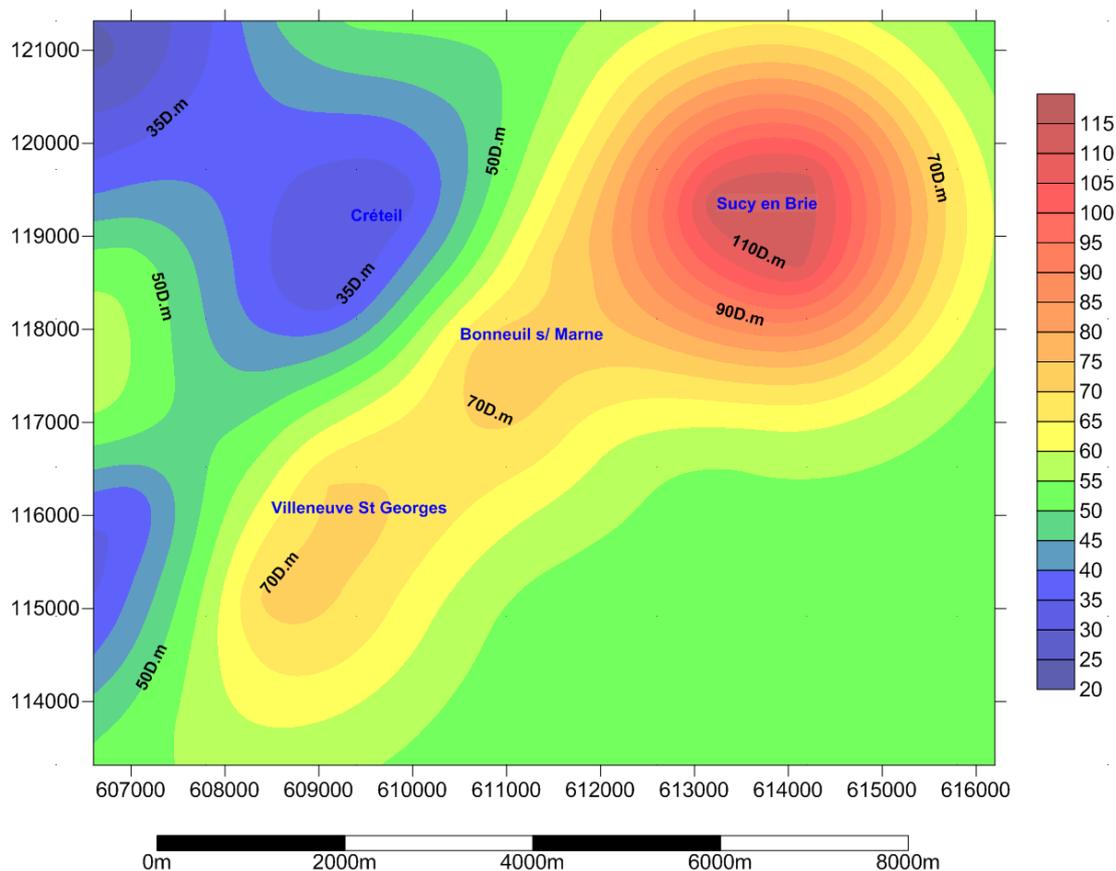


Figure 13 : Carte des transmissivités (D.m)

La Figure 13 est construite par interpolation des données relevées dans la base de données du Dogger. Au Sud Est les transmissivités ne sont pas connues (pas de puits forés) l'interpolation n'est donc pas fiable dans cette zone.

L'évolution des courbes de pression des essais de puits effectués à la fin du forage des puits de Bonneuil-sur-Marne et de Créteil semble confirmer cette tendance. Il est toutefois difficile d'appréhender la rapidité de l'évolution des transmissivités entre Créteil et Bonneuil-sur-Marne.

Au vu de ces observations, l'azimut du nouvel ouvrage sera orienté dans la direction ouest de manière à préserver les meilleurs paramètres hydrodynamiques au réservoir tout en tenant compte des contraintes du forage et de la situation de la bulle froide créé par les puits GBL-2 et GBL-3.

**La transmissivité attendue est donc de l'ordre de 75 ± 5 D.m.**

Les débits artésiens originels mesurés sur GBL-1, GBL-2, GBL-1ST et GBL-3 sont respectivement de 525 m<sup>3</sup>/h, 440 m<sup>3</sup>/h, 120 m<sup>3</sup>/h et 150 m<sup>3</sup>/h. L'écart entre le débit artésien de GBL-1 et celui de GBL-1ST s'explique par la différence de conception de l'ouvrage, donc des pertes de charge du tubage et du diamètre en fond de puits.

**Le futur ouvrage GBL-4 foré en 12''<sup>1/4</sup> et complété en matériaux composites en diamètre 9''<sup>5/8</sup> permettra d'obtenir le débit artésien attendu de 250 m<sup>3</sup>/h. La pression en tête de puits attendue est de 3 bars à l'origine.**

**Productivité du nouvel ouvrage GBL-4**

La détermination de la productivité de GBL-4 est réalisée à partir des éléments hydrogéologiques préalablement définis et de la configuration du doublet déterminée lors de la modélisation hydraulique.

Ainsi, les paramètres principaux déterminant la productivité au réservoir du nouvel ouvrage sont :

- la transmissivité ;
- le facteur de skin qui représente les capacités du réservoir au proche puits ;
- le rayon du puits.

Le Tableau 6 résume les valeurs prises pour ces principaux paramètres et leur incertitude.

L'indice de productivité au réservoir est considéré comme constant jusqu'au débit de 200 m<sup>3</sup>/h. Le Tableau 7 suivant résume les indices de productivité au réservoir en fonction des hypothèses et des incertitudes des paramètres.

**Tableau 6 : paramètres principaux pris en compte dans la détermination de la productivité de GBL-4**

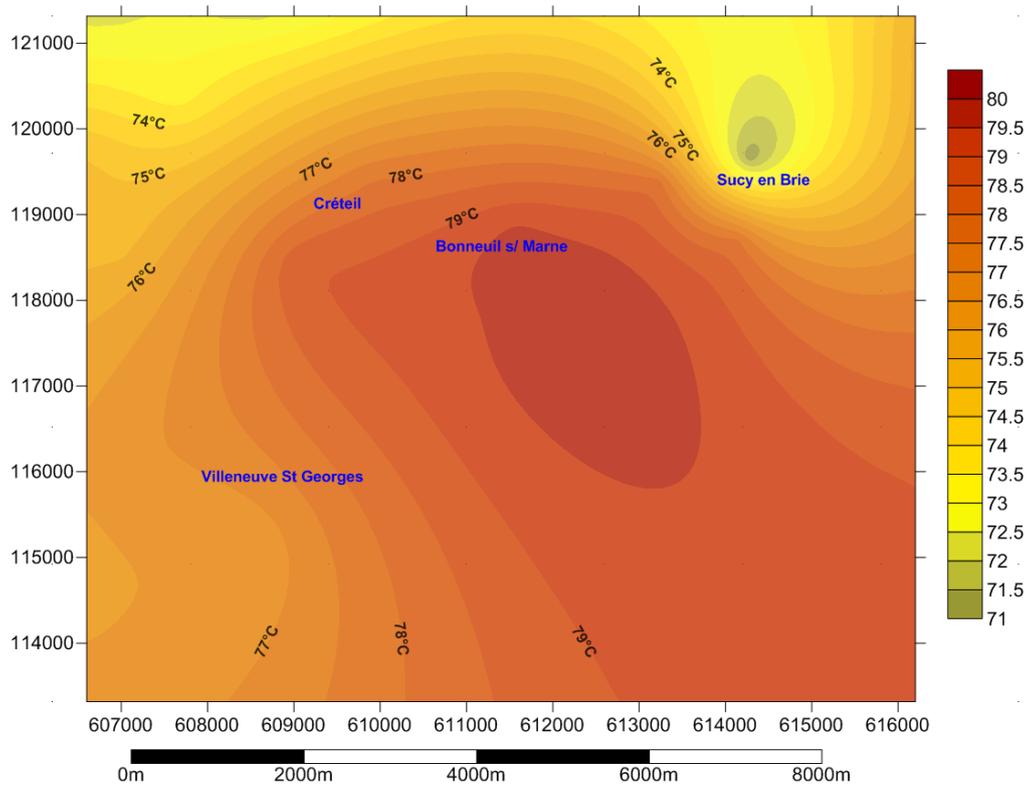
Paramètres	GBL-4
Transmissivité (D.m)	75 ± 5 (Cf. Paragraphe 0.)
Rayon du puits (pouces)	12'' <sup>1/4</sup>
Skin	- 4 ± 1 (skin moyen en début d'exploitation)
Salinité (g/l)	22 ± 1
Température ° C	79 ± 0,5

**Tableau 7 : Indices de productivité prévisionnels**

	Hypothèse basse	Valeur estimée	Hypothèse haute
Indice de productivité	48 m <sup>3</sup> /h/bar	58 m <sup>3</sup> /h/bar	70 m <sup>3</sup> /h/bar

### Température

Régionalement, une augmentation des températures du Dogger du Nord Ouest vers le Sud Est est observée (Cf. construite par interpolation des données relevées dans la base de données du Dogger). Les températures relevées au droit de GBL-1, GBL-2 et GBL-3 au toit du Dogger sont respectivement de 79,3°C ; 79,7°C et de 79,3°C. La proximité du puits GBL-1 permet d'envisager une température de 79 ±1°C en fond de puits GBL-4.



**Figure 14 : Carte d'iso valeurs des températures du Dogger**

### Qualité chimique du fluide géothermal

La chimie de l'eau du Dogger est agressive ; en effet la salinité est élevée (> 15 g/l) et l'eau géothermale contient des gaz dissous (notamment CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S).

A l'échelle régionale, on observe un gradient croissant de salinité orienté selon une direction ouest-sud-ouest / est-nord-est. Le niveau de salinité de l'eau du Dogger impose sa réinjection dans le réservoir et exclut tout autre type de valorisation de ce fluide. La mise en œuvre d'un traitement par inhibiteur de corrosion et l'injection d'un bactéricide à l'annulaire permettront de protéger le tubage en acier. Cependant la nature inerte des matériaux composites pour la complétion ne nécessite pas quant à elle d'inhibition.

Au niveau de Bonneuil-sur-Marne, la salinité moyenne mesurée en tête du puits GBL-1ST durant les suivis d'exploitation réalisés par CFG Services est de 22 g/l. Pour GBL-2 la salinité relevée en fin de forage était de 25 g/l.

Compte tenu de la proximité du puits GBL-1ST, **le puits GBL-4 devrait produire un fluide de salinité voisine de 22 g/l.**

#### 2.4. Modélisation hydraulique et thermique du réservoir

La simulation numérique des transferts de masse et de chaleur, visant à quantifier l'évolution des champs de pressions et températures, a été conduite selon la méthodologie développée dans le logigramme de la Figure 15 qui présuppose un modèle structural cohérent. Les simulations de calage et prévisionnelles ont fait appel au logiciel spécialisé TOUGH2 V2, qui résout par voie numérique les formes discrétisées (différences finies) des équations aux dérivées partielles décrivant les transferts de masse et de chaleur, assorties de leurs équations d'état et des conditions initiales et aux limites.

Le logiciel TOUGH2 V2 est un simulateur numérique de transferts de masse et de chaleur de fluides multicomposants, en conditions non isothermales, polyphasiques, et des environnements poreux bi ou tridimensionnels, fracturés ou non. Il est majoritairement utilisé dans l'ingénierie des réservoirs pour la géothermie, le stockage des déchets nucléaires ou encore la modélisation des domaines hydrogéologiques saturés et non saturés.

Ce logiciel est écrit en langage FORTRAN77, dont la version utilisée permet de préciser l'équation d'état à appliquer pour les calculs. TOUGH2 étant peu ergonomique et rigide sur les formats des données d'entrée, l'interfaçage est assurée par le logiciel MVIEW de gestion des entrées/sorties, plus convivial.

La proximité des opérations voisines a impliqué la prise en compte des interférences hydrauliques et thermiques des exploitations du Val-de-Marne suivantes : Créteil, Sucy-en-Brie et Villeneuve-Saint-Georges

L'étude a été séparée en deux parties :

- une étude hydraulique de l'emplacement du nouveau puits GBL-4, permettant d'optimiser les interférences entre puits de manière à privilégier un débit maximal sur GBL-4;
- une étude hydro-thermique de l'évolution prévisionnelle de la bulle froide créé par GBL-3. L'historique de tous les doublets à proximité immédiate a alors été intégré et simulé depuis 1984 jusqu'en 2045.

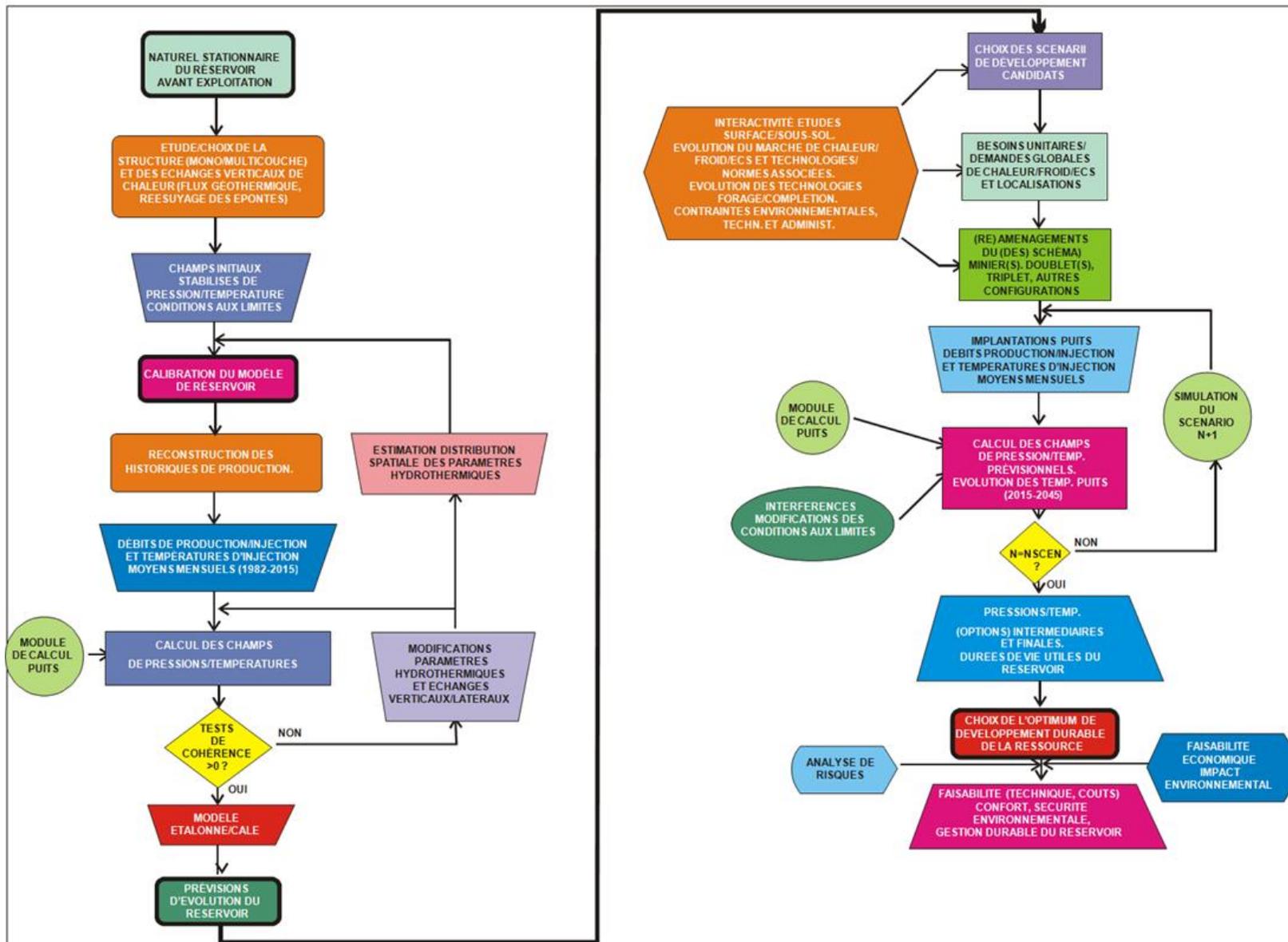


Figure 15 : Logigramme de simulation de réservoir

### 2.4.1. Domaines simulés

Le domaine simulé, un rectangle d'environ 84 km<sup>2</sup> de superficie, inclut les doublets de Créteil (GCRT1&2), Villeneuve St Georges (GVSG1&2), Bonneuil sur Marne (GBL1, 2,3&4), ainsi que le triplet de Sucy en Brie (GSUC1, 2&3). Les cellules de la grille ont une taille de 400 m×400 m. La transition entre les cellules autour des doublets et le reste du domaine discrétisé s'effectue via des cellules de 25 m×25 m puis 50 m×50 m puis 100 m×100 m et enfin 200 m×200 m (voir Figure 16). La modélisation verticale choisie est du type « sandwich » (Antics et al, 2005 ; Ungemach et al, 2011, schématisé en Figure 16). L'épaisseur productrice totale (hp) ainsi que l'épaisseur cumulée des épontes intermédiaires (hi) sont déterminées à partir de diagraphie différée de débitmétrie.

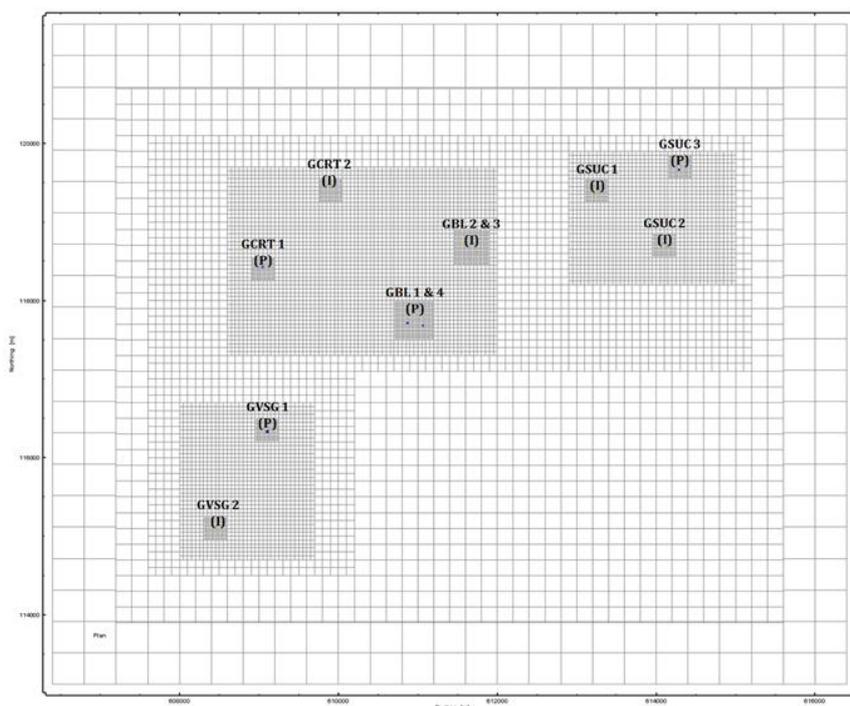


Figure 16 : Grille du domaine simulé

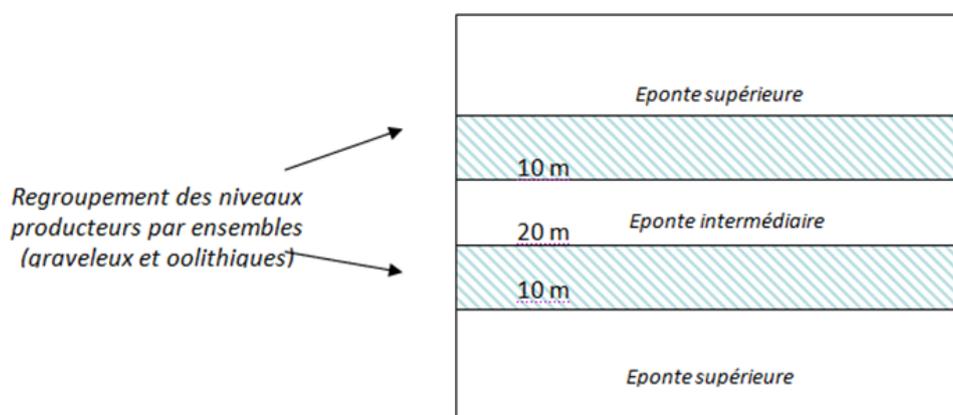


Figure 17 : schématisation sandwich du réservoir multi-couches

## 2.4.2. *Modèle thermo-hydrogéologique*

### 2.4.2.1. *Modèle conceptuel*

Le modèle est basé sur les données réservoir des puits GBL-1, GBL-2, GCRT-1, GCRT-2, GSUC-1, GSUC-2, GSUC-3, GVSG-1 et GVSG-2. L'étude portant sur Bonneuil-sur-Marne, les données de GBL-1, GBL-2 et GBL-4 sont favorisées lorsque des simplifications sont nécessaires pour la modélisation.

Au niveau des épaisseurs et des niveaux producteurs, une très forte disparité est présente (Cf. Paragraphe **Lithologie et niveaux producteurs**). Une moyenne entre GBL-1, GBL-2 et GBL-3 a donc été effectuée. **Cette hypothèse simplificatrice implique la mise en relation de tous les niveaux producteurs, soit la construction d'un modèle pessimiste.**

Sur GBL-1, GBL-2 et GBL-3, la quasi-totalité des niveaux producteurs est présente dans le niveau graveleux et le niveau oolithique. Un modèle sandwich a donc été utilisé (Figure 18). Celui-ci respecte la hauteur totale (40 mètres) comprise entre le toit du premier niveau producteur de l'ensemble graveleux et le mur du dernier niveau producteur de la formation de l'oolithe. Ce modèle a été extrapolé à Créteil, Sucy-en-Brie et Villeneuve-Saint-Georges de manière à disposer de toutes les bulles froides adjacentes.

### 2.4.2.2. *Hypothèses de modélisation*

Les hypothèses de modélisation utilisées pour le site de Bonneuil-sur-Marne sont les suivantes :

- lors de la simulation thermo-hydraulique, l'impact hydraulique des doublets environnants Créteil, Villeneuve-Saint-Georges et Sucy-en-Brie sur Bonneuil-sur-Marne est pris en compte ; l'écoulement est résolu en régime transitoire ;
- la conduction, la convection et la dispersion thermique sont résolues dans les niveaux producteurs ; au niveau des épontes, seule la conduction est simulée ; le transport de chaleur en milieu poreux est résolu en régime transitoire ;
- les changements de viscosité sont négligés (hypothèse pessimiste) ainsi que les écoulements gravitaires.

### 2.4.2.3. *Paramètres hydrodynamiques et thermiques*

Les champs de transmissivités et de température du Dogger, interpolés par méthodes géostatistiques (krigeage) à partir des valeurs recueillies sur les doublets renseignés de la zone, sont représentés respectivement en Figure 13 et Figure 14. Les champs de pressions (Figure 17) suivent les variations en profondeur du réservoir, préalablement géomodélées sous GOCAD.

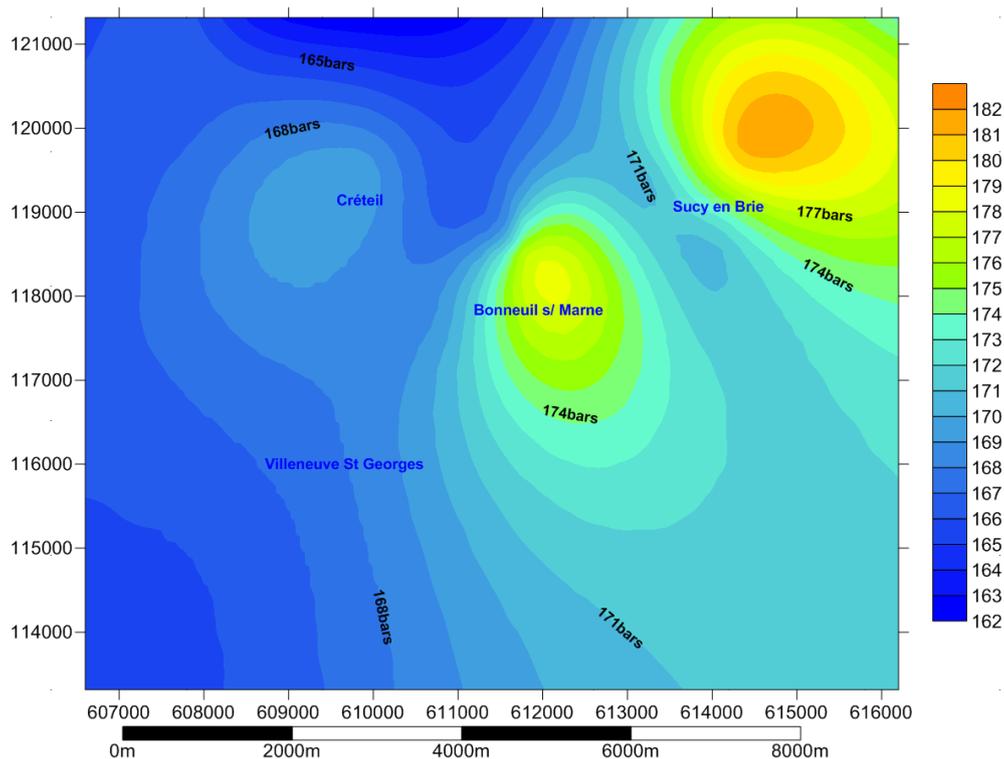


Figure 18 : Champ des pressions du Dogger

Les propriétés pétrophysiques appliquées aux différentes couches consignées dans le Tableau 8 ci-dessous. Des conditions de Dirichlet (pressions et températures constantes) ont été imposées aux limites verticales (épontes supérieure et inférieure) et latérales (périmètre du domaine simulé). Les valeurs des paramètres thermiques et des épontes sont celles usuellement utilisées dans la modélisation du Bathonien du Bassin de Paris.

Tableau 8 : Paramètres hydrodynamiques du modèle

	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Porosité	Perméabilité (m <sup>2</sup> )	Conductivité thermique (W/m°C)	Chaleur spécifique (J/kg.K)
Eponte supérieure et inférieure	2 200	1%	10 <sup>-16</sup>	2,3	840
1 <sup>er</sup> et 2 <sup>ème</sup> réservoirs	2 700	16%	10 <sup>-12</sup>	2,4	1 000
Eponte intermédiaire	2 200	1%	10 <sup>-16</sup>	2,3	840

#### 2.4.2.4. Modélisation thermique (2015-2045) et historique d'exploitation (1985-2014)

Pour la période 2015-2045, les débits et températures de réinjection pour Bonneuil ont été choisis en fonction des différents scénarii d'exploitation candidats (consignés dans le Tableau 9). Pour les autres exploitations (Créteil, Sucy, Villeneuve) un débit maximal extrait de la base de données du Dogger a été utilisé (Tableau 10).

**Tableau 9 : Scénarii d'exploitations envisagées pour le doublet de Bonneuil sur Marne**

Numéro de la simulation	Besoins annuels moyens au terme du projet ANRU (MWh)	Production simulée (prenant en compte les jours de maintenance)			Paramètres de simulation annuels retenus
		Débit moyen annuel	Delta T°C moyen	Production moyenne (MWh)	
Scenario 1	44 400	120	25	28770 (64% ENR)	Q <sub>max</sub> =150m <sup>3</sup> /h T° <sub>inj</sub> =50°C
scenario 2		154	25	31200 (72% ENR)	Q <sub>max</sub> =240m <sup>3</sup> /h T° <sub>inj</sub> =50°C
scenario 3		95	25	23000 (51% ENR)	non simulé
scenario 4		154	35	53000 (100% ENR)	Q <sub>max</sub> =240m <sup>3</sup> /h T° <sub>inj</sub> =40°C

**Tableau 10 : Débit maximal des simulations pour les exploitations proches de Bonneuil**

Villes	Sucy en Brie				Villeneuve St Georges			Créteil			
	SUC-2 (I)		SUC-3 (P)	SUC-1	VSG-1 (P)	VSG-2 (I)		CRT-1 (P)	CRT-2 (I)		
Puits	Q (m <sup>3</sup> /h)	T <sub>inj</sub> (°C)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)	T <sub>inj</sub> (°C)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)	T <sub>inj</sub> (°C)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)	T <sub>inj</sub> (°C)
2015-2045	140	50	250	110	50	235	235	50	350	350	45

Pour la calibration du modèle, l'historique des exploitations depuis 1985 a été intégré, de manière à prendre en compte les impacts hydro-thermiques existants. Les effets saisonniers lissés et intégrés sous forme de moyennes annuelles calculées à partir des données du Dogger disponibles sur le site éponyme du BRGM pour chaque doublet (Tableau 11). Etant donnée la proximité de l'impact au réservoir GBL-1 avec le side-track GBL-1ST, l'intégralité du débit de 1985 à 2014 a été simulé comme produit par GBL-1ST. De même entre 2012 et 2014 l'injecteur considéré pour calibrer le modèle reste le puits GBL-2. Le puits GBL-3 sera considéré comme injecteur à partir de 2015 dans ces simulations.

L'état hydrothermique actuel de la ressource dans la zone d'étude est présenté Figure 18 (état thermique) et Figure 19 (rabattement).

**Tableau 11 : Historique d'exploitation des doublets simulés (1984-2015)**

Villes	Sucy en Brie						Villeneuve St Georges			Créteil			Bonneuil S/ Marne		
	SUC-1 (P)	SUC-2 (I)		SUC-3 (P)	SUC-1 2008(I)		VSG-1 (P)	VSG-2 (I)		CRT-1 (P)	CRT-2 (I)		BL-1 (P)	BL-2 (I)	
	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Tinj (°C)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Tinj (°C)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Tinj (°C)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Tinj (°C)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Tinj (°C)
1984	114	114	65	0	0	0	0	0	50	0	0	45	0	0	50
1985	114	114	65	0	0	0	0	0	50	96	96	45	0	0	50
1986	114	114	65	0	0	0	0	0	50	116	116	46	0	0	50
1987	114	114	65	0	0	0	71	71	53	123	123	46	225	225	50
1988	114	114	65	0	0	0	184	184	53	171	171	46	225	225	50
1989	114	114	65	0	0	0	182	182	53	173	173	48	225	225	50
1990	114	114	65	0	0	0	95	95	63	218	218	48	187	187	55
1991	135	135	65	0	0	0	226	226	52	201	201	61	179	179	53
1992	154	154	59	0	0	0	193	193	35	224	224	53	206	206	53
1993	123	123	64	0	0	0	260	260	76	238	238	50	206	206	53
1994	156	156	64	0	0	0	100	100	50	237	237	51	206	206	53
1995	152	152	67	0	0	0	228	228	53	204	204	51	183	183	44
1996	152	152	62	0	0	0	254	254	54	174	174	51	258	258	46
1997	151	151	62	0	0	0	243	243	55	208	208	69	258	258	46
1998	144	144	69	0	0	0	235	235	54	190	190	59	258	258	48
1999	152	152	68	0	0	0	231	231	47	206	206	51	192	192	48
2000	132	132	64	0	0	0	187	187	46	192	192	22	193	193	48
2001	148	148	50	0	0	0	170	170	47	189	189	43	134	134	55
2002	126	126	61	0	0	0	173	173	47	206	206	47	140	140	58
2003	91	91	67	0	0	0	157	157	52	213	213	48	175	175	41
2004	133	133	50	0	0	0	114	114	54	200	200	58	187	187	44
2005	120	120	68	0	0	0	160	160	51	200	200	53	175	175	44
2006	110	110	74	0	0	0	160	160	51	200	200	53	175	175	44
2007	109	109	47	0	0	0	160	160	51	200	200	53	175	175	44
2008	0	45	42	113	68	42	160	160	51	200	200	53	175	175	44
2009	0	68	59	169	101	59	160	160	51	200	200	53	175	175	44
2010	0	95	52	237	142	52	105	105	62	15	15	52	97	97	49
2011	0	24	53	60	36	53	141	141	55	201	201	55	99	99	50
2012	0	52	55	130	78	55	200	200	52	137	137	52	95	95	49
2013	0	48	56	120	72	56	167	167	54	247	247	51	91	91	50
2014	0	40	49	100	60	49	180	180	57	224	224	48	110	110	48

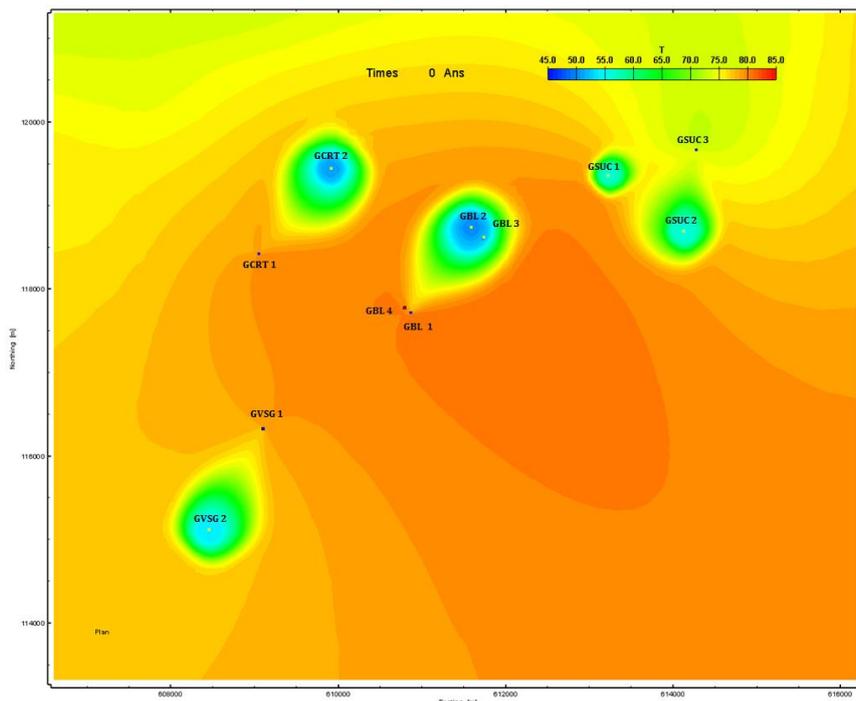


Figure 19 : Etat thermique année 2014 (°C)

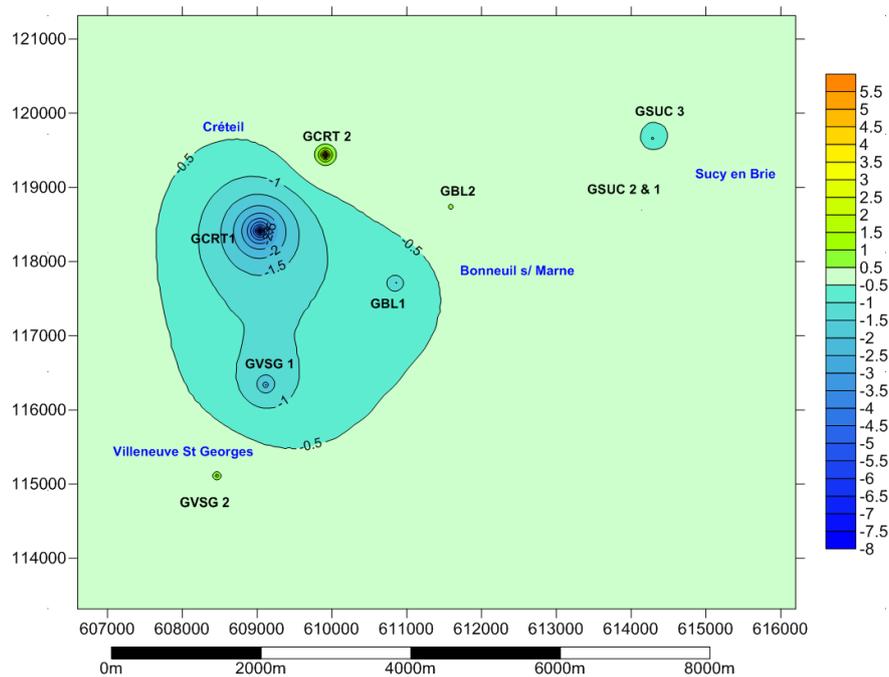


Figure 20 : Rabattement année 2014 (bars)

#### 2.4.3. Résultats des simulations : cinétique de refroidissement et impact hydraulique du doublet futur GBL-4/GBL-3 (2015-2025)

Sur la base des scénarii d'exploitation retenus, ont été effectués différentes simulations pessimistes (i.e. ne prenant pas en compte le débit moyen annuel mais le débit maximal possible tout au long de la simulation) : les deux premières correspondent à des températures de réinjection moyennes annuelles de 50°C pour des débits respectifs maximum de 150m<sup>3</sup>/h **scénario 1** et 240m<sup>3</sup>/h **scénario 2**.

- SCENARIO 1 (150m<sup>3</sup>/h, température de réinjection 50°C)

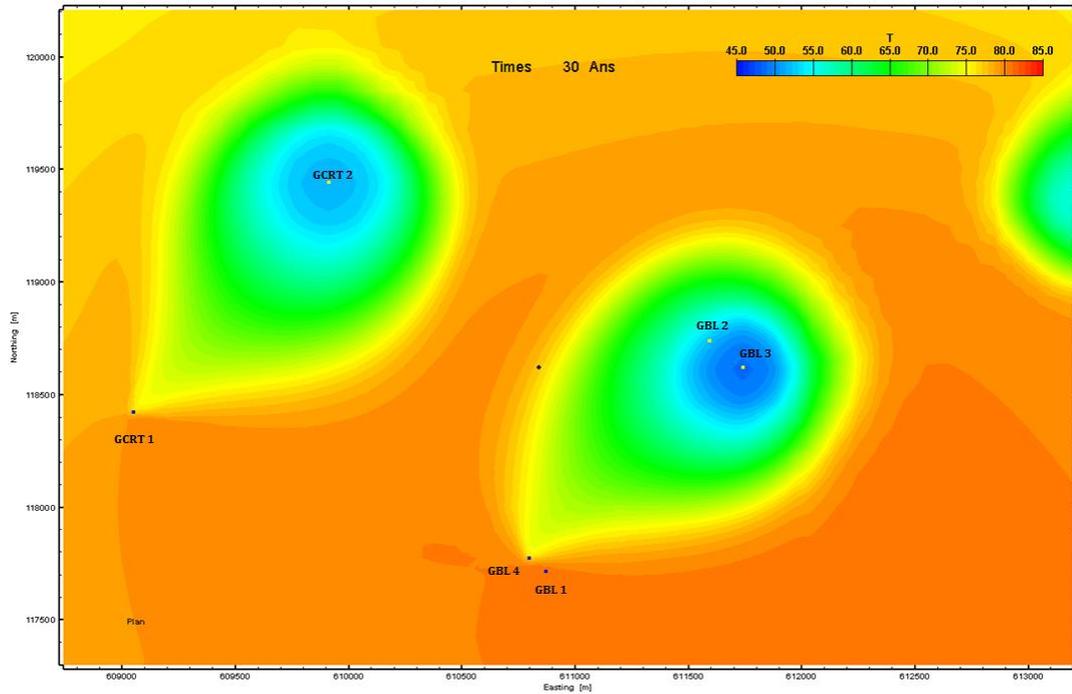


Figure 21 : Impacts thermiques simulés de la réinjection après 30 ans d'exploitation (Température en °C)- Scenario 1

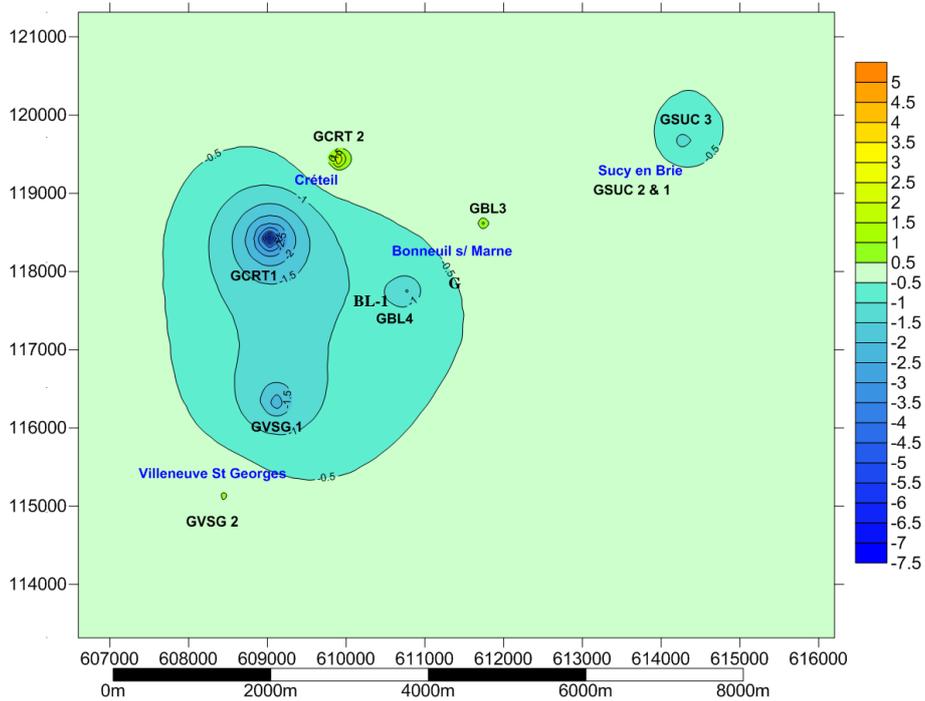
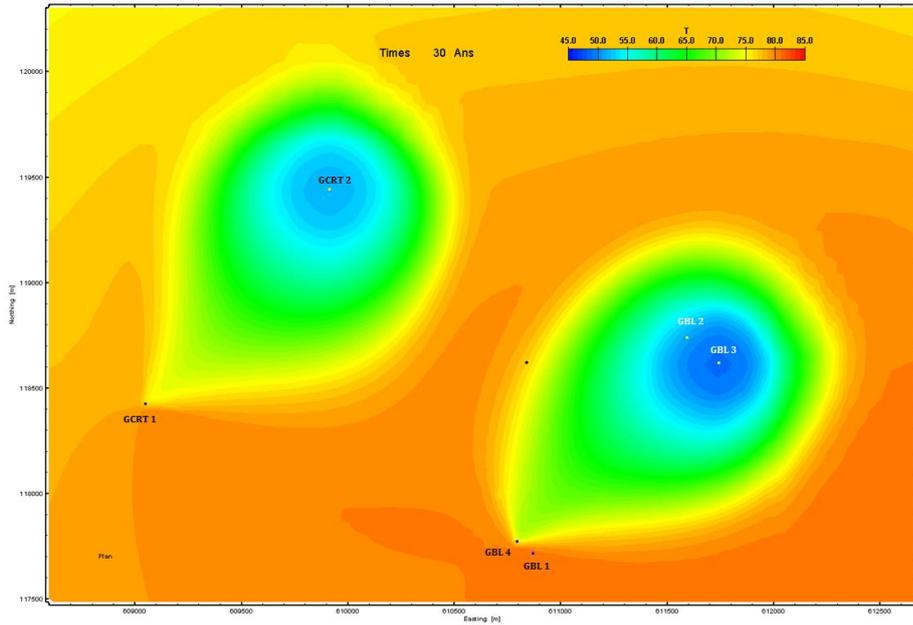


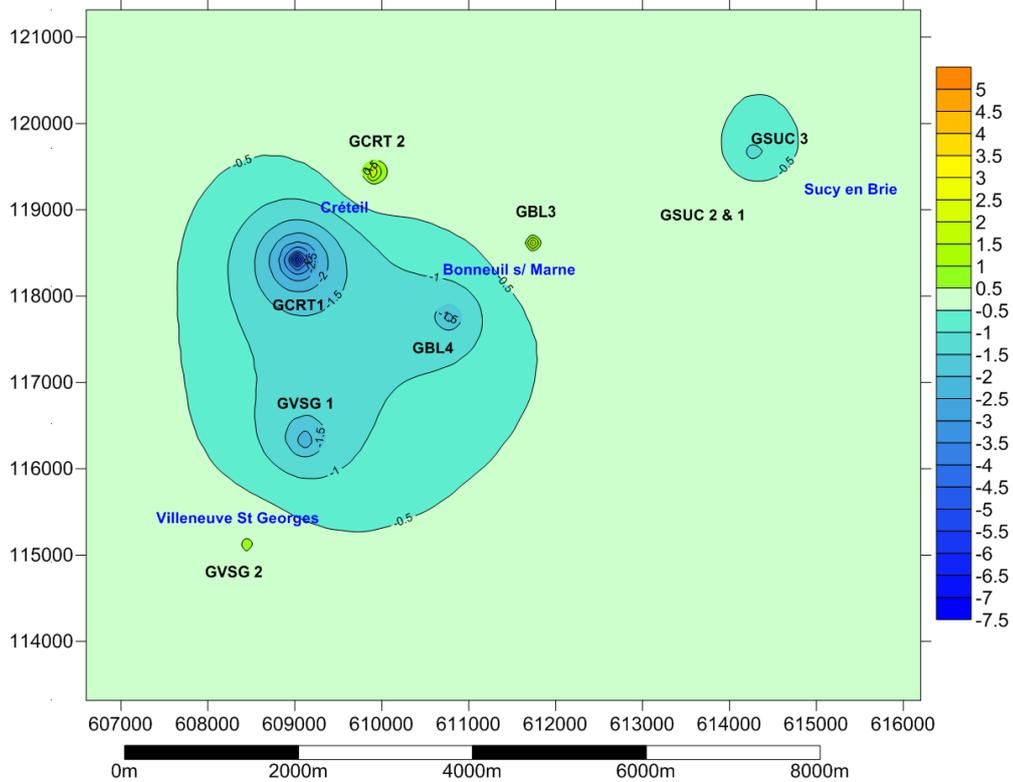
Figure 22 : Rabattements simulés (bars) après 30 ans d'exploitation - Scenario 1

L'impact thermique se limite au seul doublet en fonctionnement, les rabattements ne diffèrent quasiment pas de la situation actuelle (année 2014-2015).

- **SCENARIO 2 : (240m<sup>3</sup>/h, température de réinjection 50°C)**



**Figure 23 : Impacts thermiques simulés de la réinjection après 30 ans d'exploitation (températures en °C) - Scénario 2**



**Figure 24 : Rabattements simulés (bars) après 30 ans d'exploitation - Scénario 2**

L'impact thermique reste circonscrit au doublet en fonctionnement, le rabattement maximum en périphérie se limitant à 0.5 bars.

- SCNEARIO 3 : (240m<sup>3</sup>/h, température de réinjection 40°C)

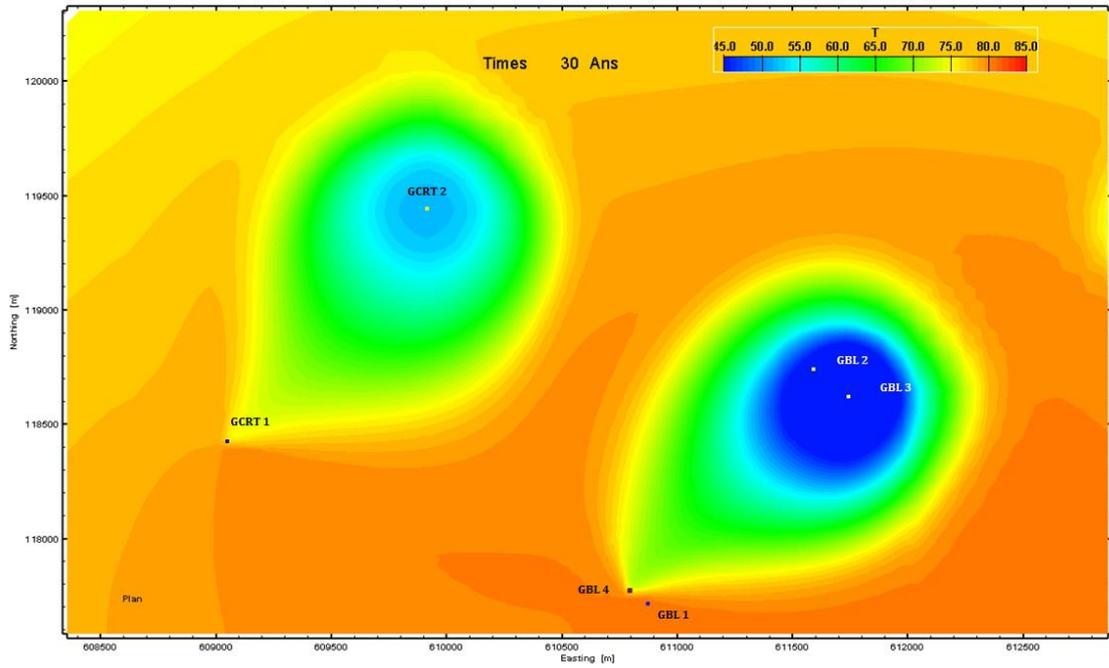


Figure 25 : Impacts thermiques simulés de la réinjection après 30 ans d'exploitation (températures en °C)

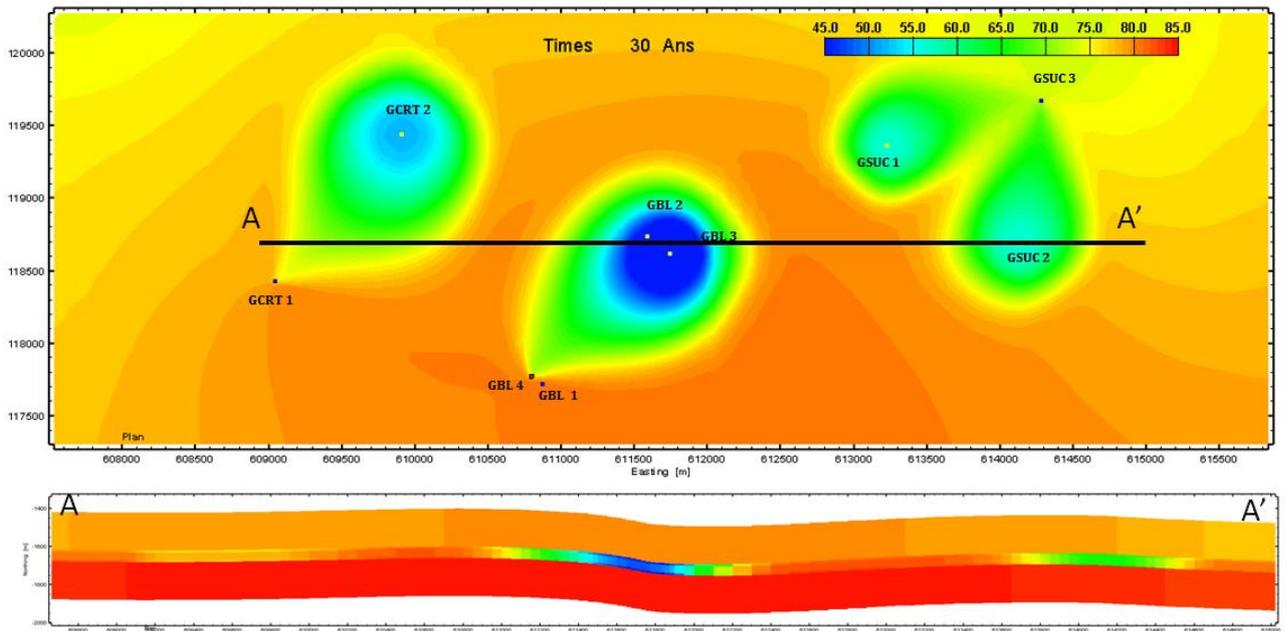


Figure 26 : Coupe thermique verticale Section A-A'

Dans le cas du scenario 3 la simulation prend en compte le fonctionnement du doublet à une température moyenne annuelle de réinjection de 40°C pour un débit permanent de 240m<sup>3</sup>/h. Dans ces conditions l'impact thermique se révélerait plus sensible.

### CINETIQUE DE REFROIDISSEMENT

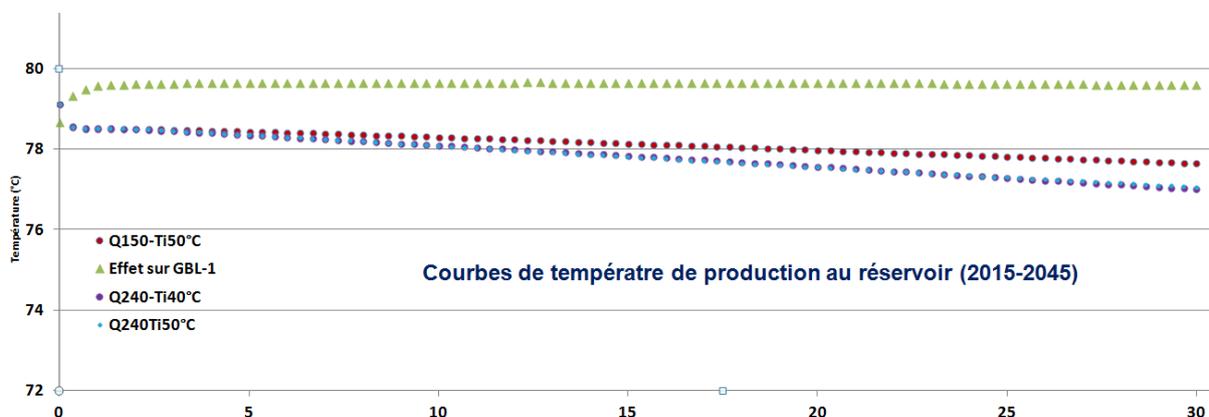


Figure 27 : Courbes de température de production au réservoir en fonction du temps (année) pour les 3 scénarii d'exploitation candidats

Du fait de la proximité avec le précédent doublet, la percée thermique s'amorce rapidement (après moins de 5 ans) et on peut s'attendre à une baisse d'environ 1°C d'ici 2045.

## 2.5. Synthèse de l'étude hydrogéologique et de la modélisation du réservoir

Les principaux résultats de l'étude hydrogéologique et de la modélisation sont les suivants :

- le secteur d'étude comprend une forte variation de la transmissivité allant de 110 D.m à l'est (Sucy en Brie) à 30 D.m au niveau de Créteil Mont-Mesly. Le nouveau puits sera positionné vers l'ouest. Les paramètres attendus pour GBL-4 sont proches du puits GBL-1ST actuel, soit un indice de productivité de **58 ± 10 m<sup>3</sup>/h/bar**
- les températures au réservoir sont relativement stables dans l'environnement des puits de Bonneuil-sur-Marne; **la température attendue au puits GBL-4 est de 79 ± 1° C ;**
- la cible au réservoir de GBL-4 proposée et présentée sur la Figure 27, a été conditionnée par les points suivants :
  - les paramètres réservoirs : la transmissivité est optimale dans cette zone ;
  - la distance aux bulles froides actuelle et prévisionnelle ; en effet, le nouvel ouvrage doit se situer à une distance suffisante de GBL-3 pour ne pas être impacté par une percée thermique trop importante ;
  - les contraintes techniques du forage, notamment liées à l'utilisation de matériaux innovants ;
  - la présence et l'influence hydraulique des autres exploitations telles que Sucy en Brie, Créteil et Villeneuve-Saint-Georges ;

Cette cible comprend une distance entre la plate-forme et l'impact au réservoir de 820 mètres. La distance entre GBL-3 et GBL-4 est de 1270 mètres.

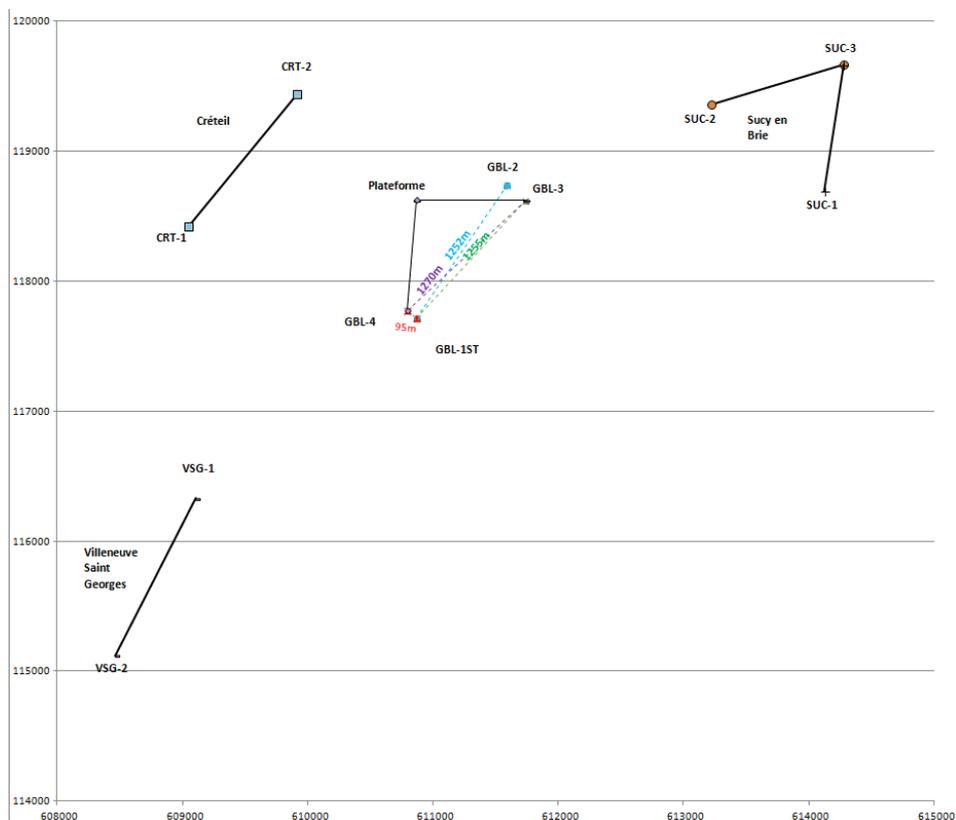


Figure 28 : Implantation prévisionnelle de GBL-4 (coordonnées : Lambert I)

## 2.6. Débit, volume et périmètre d'exploitation prévisionnels

### 2.6.1. Débits d'exploitation envisagés

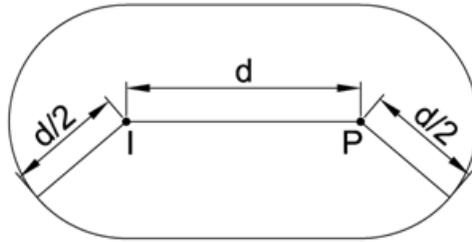
L'étude a permis de conclure que l'extraction et la réinjection d'un débit maximal 240 m<sup>3</sup>/h, d'une eau à 79±1°C serait envisageable par l'intermédiaire du nouveau doublet GBL-3/GBL-4.

### 2.6.2. Volume et périmètre d'exploitation

#### 2.6.2.1. Définition

Le périmètre d'exploitation requis à l'issue des travaux sera inclus dans le périmètre du permis de recherche sollicité dans ce dossier. Il prendra en compte les paramètres réels du réservoir ainsi que les impacts réels des ouvrages au toit du réservoir et en fonds d'ouvrages.

La forme "stade" ou "gélule", présentée dans le schéma ci-dessous, est celle qui pourrait être adoptée dans le cadre de ce projet. P et I sont les impacts, au niveau du Dogger, des puits producteur et injecteur. Les points d'impact sont définis par les coordonnées barycentriques de la production moyenne.



### 2.6.2.2. Représentation graphique

Dans le cas de Bonneuil-sur-Marne, l'installation reposera sur 2 puits, un ouvrage producteur (GBL-4) et un ouvrage injecteur (GBL-3) dont la géométrie et les distances des impacts au réservoir du Dogger sont présentées sur la Figure 28 et sur la Figure 29.

L'enveloppe prévisionnelle du périmètre d'exploitation est représentée par la gélule hachurée en rouge sur la Figure 30 (la gélule rouge correspond au périmètre d'exploitation actuel). Suite à la modélisation numérique du réservoir les coordonnées prévisionnelles des impacts au toit du réservoir seraient : (Lambert II étendu)

Toit du réservoir (P) GBL-4	Toit du réservoir (I) GBL-3
X = 610 801 m	X = 611 748 m
Y = 2 418 002 m	Y = 2 418 850,5 m

La distance entre les impacts prévisionnelle au réservoir du Dogger est de 95 m entre GBL-4 et GBL-1ST. La distance entre GBL-3 et GBL-4 est de 1270 mètres.

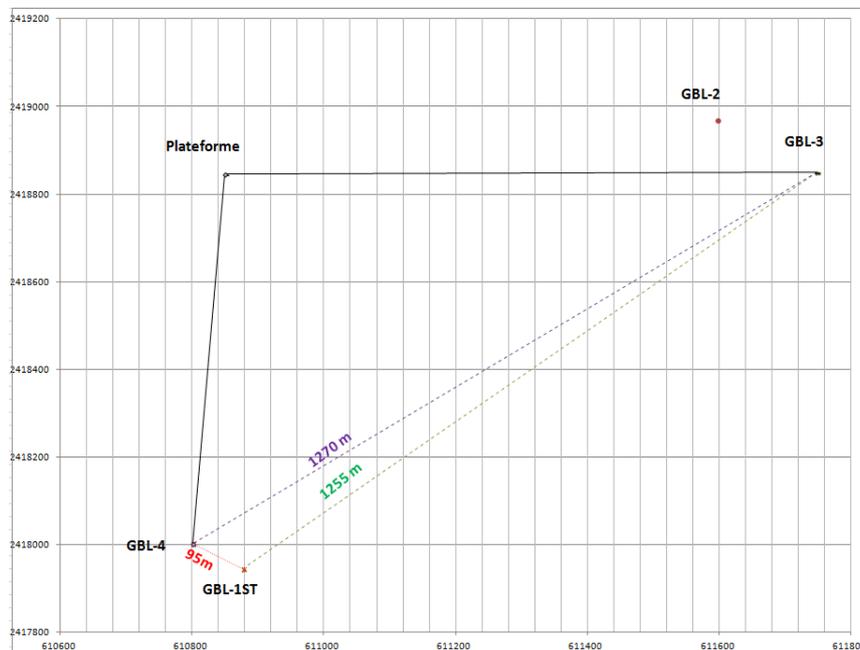
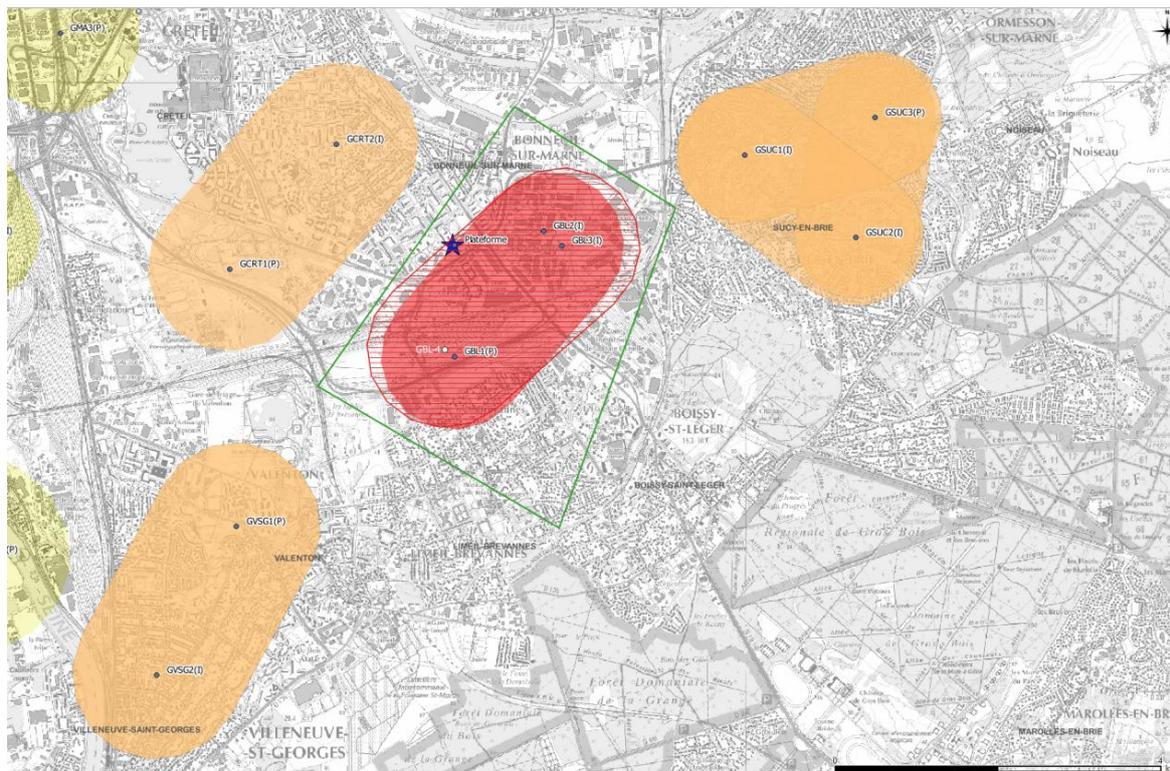


Figure 29 : Distance des impacts au réservoir du Dogger des puits du doublet de Bonneuil-sur-Marne (système de coordonnées : Lambert II étendu)

Le périmètre du permis de recherche est représenté par le cadre vert. La gélule qui correspond à l'exploitation actuelle est en rouge.



**Figure 30 : En rouge emprise du périmètre d'exploitation du doublet actuel ; hachurée en rouge, emprise prévisionnelle du périmètre d'exploitation du doublet GBL-3/GBL-4 de Bonneuil-sur-Marne ; en vert le périmètre du permis de recherche**

### 2.6.2.3. Définition du volume d'exploitation

L'épaisseur d'aquifère sollicitée est définie par deux cotes en mètres par rapport au sol (référence GBL-4) :

- la cote du sabot du tubage le moins profond (au toit du réservoir) ; soit à la cote prévisionnelle de 1665 m de profondeur verticale (Cf. Figure 11) ;
- la cote de fond du forage le plus profond ; soit à la cote prévisionnelle de 1770 m de profondeur verticale (Cf. Figure 11).

L'épaisseur d'aquifère sollicité prévisionnelle est estimée à 105 m (soit environ 135 mètres forés). L'épaisseur finale sera définie dans les dossiers des Ouvrages Exécutés suite aux travaux de forage.

Le volume d'exploitation est compris entre les plans horizontaux correspondant à ces deux cotes et a pour projection horizontale l'enveloppe convexe de la gélule citée ci-dessus (Cf. Figure 30).

Le volume d'exploitation prévisionnelle serait d'environ  $290 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

## 2.7. Dispositifs de mobilisation de la ressource

### 2.7.1. Généralités

#### 2.7.1.1. Introduction

La mobilisation de la ressource géothermale locale s'articule succinctement selon le phasage suivant :

- (i) élaboration d'un programme de développement en accord avec l'adéquation entre la ressource géothermale (débit, température) attendue et les besoins du réseau de chaleur, objet des études d'APS/APD et les missions normalisées de maîtrise d'œuvre ;
- (ii) définition d'un schéma minier (type doublet), d'une architecture puits et d'une boucle géothermale (interface puits/réseau) aptes à sécuriser l'objectif de production (mission PRO) ;
- (iii) affrètement d'un appareil et d'une dotation de forage appropriés dont l'empreinte au sol et la signature acoustique permettront de sélectionner un site de forage compatible avec les contraintes logistiques (accès, transports) et environnementales (habitats, végétation, faune) locales ;
- (iv) engagement des travaux de Génie Civil préparatoires à l'installation de l'appareil et de la dotation de forage ;
- (v) réalisation du programme de forage, complétion et essais validant la ressource et son exploitation ultérieure ;
- (vi) établissement du cahier des charges, des équipements, prestations et services requis par la mise en œuvre de la boucle géothermale ;
- (vii) réception des travaux et équipements ;
- (viii) mise en service du doublet géothermique de chauffage urbain.

#### 2.7.1.2. Emprise au sol des travaux de forage et aménagement de la plateforme

Dans l'enceinte du site, une surface de chantier d'environ 3200 m<sup>2</sup> est disponible pour accueillir l'implantation d'une machine de forage capable de forer à une profondeur d'environ 2068 mètres forés en diamètre final 12''<sup>1/4</sup> au réservoir. C'est une contrainte forte de ce chantier qui devra être prise en compte lors du choix de la machine de forage afin qu'elle s'inscrive dans le périmètre autorisé. Pour mémoire, la plate-forme standard destinée à recevoir les installations (appareil de forage et ses annexes) est constituée de :

- une aire empierrée et compactée généralement traitée en « voirie lourde » ;
- un réseau de caniveaux disposé autour des bassins de fabrication et de circulation de la boue de forage ;
- trois bassins étanches destinés à la récupération des déblais solides et liquides produits par le forage ainsi que de l'eau géothermale lors de la phase d'essai des puits ;

Ces ouvrages sont destinés à être détruits à l'issue des travaux de forage, resteront à demeure sur le site :

- une cave en béton armé au centre de laquelle est positionné le puits avec son empilage de vannes de sécurité et adaptateurs,
- une extension en béton armé autour de la cave dont la dimension dépend de l'appareil de forage utilisé

## 2.7.2. Description sommaire de l'ouvrage du sous-sol projeté et coupe technique prévisionnelle

### 2.7.2.1. Profil et coupe technique prévisionnelle

Le profil du puits et la coupe technique prévisionnelle ont été définis à partir de la synthèse de la coupe géologique prévisionnelle (cf. Figure 11) et des résultats de la modélisation (déplacement latéral du point d'impact au réservoir par rapport à la verticale de 820 mètres).

La configuration proposée correspond à la réalisation d'un puits incliné à partir de la plateforme existante selon le schéma de la figure ci-dessous (Cf. Figure 30).

Le nouveau puits producteur GBL-4 comporte une phase verticale entre la surface et 350 m de profondeur, suivie d'une phase durant laquelle l'inclinaison croît progressivement (jusqu'à environ 36°) par rapport à la verticale ; la troisième phase réalisée en inclinaison stabilisée permet d'obtenir un écartement entre le nouveau puits de production GBL-4 et le puits d'injection GBL-3 d'environ 1270 m, à la profondeur verticale de 1 770 m (2068 m forés).

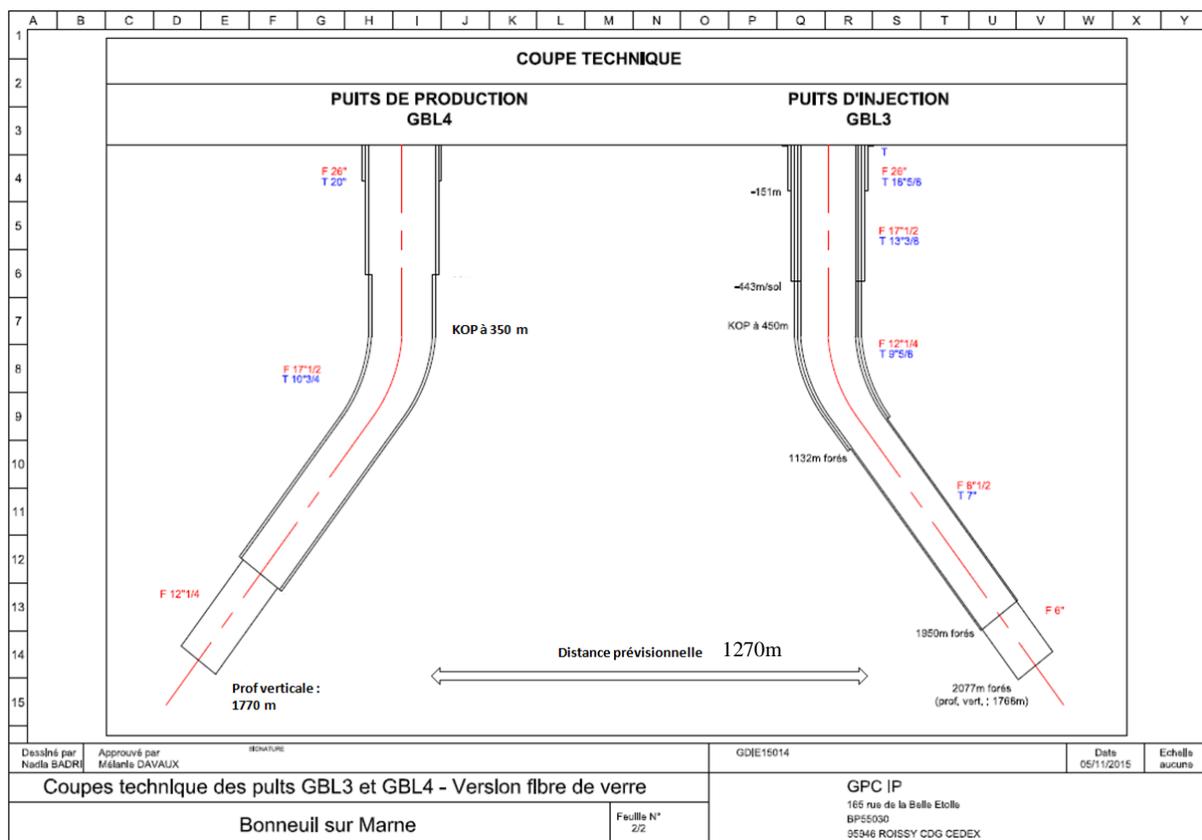


Figure 31 : Profil du nouvel ouvrage de captage par rapport au puits injecteur GBL-3

Le programme de forage est développé dans la demande d'autorisation d'ouverture de travaux de forage (Cf. Chapitre 3).

La coupe technique prévisionnelle du puits est présentée sur la Figure 32. Elle est représentée en projection sur un plan vertical. Elle tient compte des éléments de dimensionnement évalués ci-dessus en relation avec le cahier des charges de l'exploitation (réglementation sur l'eau, puissance, entretien, pérennité...).

**La protection de l'aquifère stratégique de l'Albien/Néocomien est assurée par le tubage en acier cimenté et la complétion en matériaux composites.**

COORDONNEES	TÊTES DE PUIITS	CIBLE PROJETEE	CIBLE ATTEINTE
X } Lambert NE Y } Z (m NGF)			

TVD	GEOLOGIE	PROFONDEURS (m/sol)		DIAMETRES DE FORAGE (")		TUBAGES/COMPLETION PROFIL PUIITS		PARAMETRES DE FORAGE	FLUIDES DE FORAGE	CIMENTATIONS	DIAGRAPHIES DIFFEREES (*)	FORAGE DIRIGE
		TVD	MD	TVD	MD	TVD	PROFIL					
100	Tertiaire	115	115	55	55	50	30" (CP) 20" (CSG)	WOB = 2 - 10 t RPM = 60 - 90 t/mn Q = 2000 - 3000 l/mn	Boue bentonitique simplifiée adoucie Bouchons visqueux BV = d=1,12/1,30 VM = 44/68 pH = 9	Innerstring (stinger et anneau) Pozzmix d=1,60 Ciment au jour	Phase 26* GR BGL	KOP @ 350 m/sol GBU 1"/10 m
200	Sénonien	430	430	290 295 300	20" (CSG) 13"3/8 (TBG)	290 295 300	WOB = 8 - 10 t RPM = 80 Q = 2500 l/mn À partir de 450 m paramètres à définir par opérateur déviation	Boue bentonitique améliorée + additifs (réducteur de filtrat, lubrifiant, adoucisseur) 1,05/1,10; 48/60; 10	17"1/2	GR BGL	Phase 17"1/2	
300												570
400	Turonien	640	666	17"1/2	17"1/2	17"1/2	17"1/2	Boue salée aux biopolymères + additifs (anti-mousse, dispersants, réducteur de filtrat, lubrifiant)	17"1/2	Cimentation classique (sabot et anneau) Laitier de tête allégé d=1,30 Laitier de queue Classe G (Pozzmix) d=1,60 Additifs (fluidifiants, retardateurs...)	GR BGL	Incl. #36°
500	Cénomarien	700	764									
600	Gault (Albien sup)	735	784	12"1/4	12"1/4	12"1/4	12"1/4	WOB < 6 t RPM < 60 t/mn Q = 2500 - 2700 l/mn	12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)	Phase 12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)
700	Albo-Aptien	840	913									
800	Barremien	890	975	12"1/4	12"1/4	12"1/4	12"1/4	WOB < 6 t RPM < 60 t/mn Q = 2500 - 2700 l/mn	12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)	Phase 12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)
900	Neocomien	995	1105									
1000	Purbeckien	1020	1136	12"1/4	12"1/4	12"1/4	12"1/4	WOB < 6 t RPM < 60 t/mn Q = 2500 - 2700 l/mn	12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)	Phase 12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)
1100	Portlandien	1135	1278									
1200	Kimmeridgien	1270	1445	12"1/4	12"1/4	12"1/4	12"1/4	WOB < 6 t RPM < 60 t/mn Q = 2500 - 2700 l/mn	12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)	Phase 12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)
1300	Sequanien	1400	1606									
1400	Rauracien	1485	1711	12"1/4	12"1/4	12"1/4	12"1/4	WOB < 6 t RPM < 60 t/mn Q = 2500 - 2700 l/mn	12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)	Phase 12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)
1500	Argovien	1570	1816									
1600	Oxfordien	1620	1878	12"1/4	12"1/4	12"1/4	12"1/4	WOB < 6 t RPM < 60 t/mn Q = 2500 - 2700 l/mn	12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)	Phase 12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)
1700	Callovien	1660	1927									
1800	Bathonien	1770	2063	12"1/4	12"1/4	12"1/4	12"1/4	WOB < 6 t RPM < 60 t/mn Q = 2500 - 2700 l/mn	12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)	Phase 12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)
1900												
2000				12"1/4	12"1/4	12"1/4	12"1/4	WOB < 6 t RPM < 60 t/mn Q = 2500 - 2700 l/mn	12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)	Phase 12"1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)

(\*) GR : Gamma Ray  
BGL : Borehole Geometry Log  
IND : Induction Log  
CALXY : OH (4 arm) Caliper  
CBL/VDL : Cement Bond Log/Variable Density Log  
CIT : Casing Inspection Tool  
URS : Ultrasonic Radial Scanner  
LDL : Litho Density Log  
CNL : Compensated Neutron Log  
BHC : Borehole Compensated Sonic  
FS : Fluid Sampler  
PLT : Production Logging Tools (incl. Flowmeter)  
VSP : Vertical Seismic Profile

Figure 32 : Coupe prévisionnelle de forage

## 2.7.3. Description et fonctionnement de la boucle géothermale du projet de Bonneuil-sur-Marne

### 2.7.3.1. Généralités

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

Il est prévu dans le cas de Bonneuil-sur-Marne d'exploiter le gisement en débit artésien à assistance par pompe de gavage. La Figure 33 présente schématiquement les principaux organes fonctionnels de la boucle géothermale correspondant au dispositif de Bonneuil-sur-Marne. Le doublet constitué de deux puits inclinés sera équipé d'une station de traitement des fluides spécifique au Dogger au niveau du puits producteur GBL-4 avec complétion en matériaux composites.

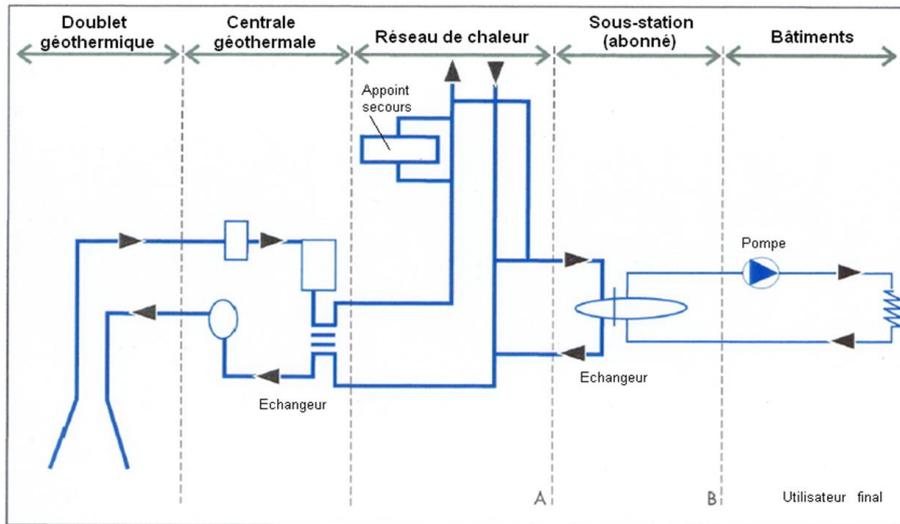


Figure 33 : Schéma de principe de la boucle géothermale

### 2.7.3.2. Les équipements de complétion

Les équipements nécessaires à la mise en production de la boucle géothermale sont décrits succinctement par sous-ensembles fonctionnels, depuis le puits d'exhaure jusqu'au puits de réinjection dans le Tableau 12. Dans ce tableau sont présentées également, la durée de vie moyenne des équipements, donnée d'entrée indispensable à l'évaluation des coûts de gros entretien exposés au paragraphe 1.4.5. L'échangeur de chaleur constitue la limite géothermale / géothermique. Les spécifications techniques des équipements seront déterminées pour un fonctionnement au débit maximal de 240 m<sup>3</sup>/h et une température d'exhaure de 79 ± 1°C. Les sous-ensembles fonctionnels sont les suivants :

- Pour ce qui concerne les équipements du sous-sol (jusqu'en tête de puits) :
  - Dispositif d'injection de bactéricide à l'annulaire y compris station d'injection ;
  - Dispositif de traitement anticorrosion en tête de puits y compris station d'injection
  - Matériaux de complétion en fibre de verre
- Pour ce qui concerne les équipements situés en surface (entre les têtes de puits)
  - Conduites de surface et robinetterie jusqu'à l'échangeur de chaleur ;
  - Pompe de gavage
  - Equipements électriques d'alimentation du groupe de pompage de réinjection depuis le TGBT ;
  - Echangeur de chaleur à plaques ;

- Groupes de pompage de réinjection ;
- Conduites de surface et robinetterie entre échangeur et têtes de puits d'injection ;
- Régulation et contrôle des puits, des installations de surface et du fluide.

Les caractéristiques des équipements fixes de la boucle géothermale (puits, conduite de surface, échangeurs) seront déterminées pour résister aux contraintes physiques et chimiques des fluides (eau géothermale) et limiter les pertes de charge (réduites grâce à la complétion en matériaux composites).

Les caractéristiques des éléments mobiles de la boucle géothermale (pompes et variateurs associés) seront déterminées pour réguler la production d'eau géothermale en fonction des besoins en chaleur. Leur dimensionnement sera tel qu'il permettra d'anticiper sur une possible dégradation des caractéristiques des puits par augmentation des pertes de charge.

**Tableau 12 : descriptif sommaire des équipements de la boucle sous-sol du doublet de Bonneuil-sur-Marne avec estimation des fréquences de renouvellement**

Sous-ensembles fonctionnels	Fonction		Durée de vie moyenne
Dispositif d'injection d'inhibiteur et de bactéricide à l'annulaire - Station de traitement associée	Lutter contre les phénomènes de corrosion et de dépôts dans les puits à complétion ou soutènement en acier et dans les installations de surface.		10 ans
Régulation et contrôle des puits, des installations de surface et du fluide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Régulation des pressions et des débits en fonction des besoins</li> <li>- Sécurité</li> <li>- Contrôle des paramètres du fluide.</li> </ul>		5 ans
Pompe de gavage	Exploitation du débit artésien sous le point bulle		20 ans
Equipements électriques d'alimentation depuis le tableau TGBT	Entrainement du groupe de pompage de réinjection		20 ans
	Filtration réseau géothermal	Eliminer des éléments pouvant réduire la durée de vie des échangeurs.	10 ans
	Echangeurs de chaleur à plaques titane	Transférer l'énergie thermique du fluide primaire (réseau géothermal) au fluide secondaire (réseau géothermique).	20 ans
	Groupe de pompage de réinjection et équipements électriques d'alimentation depuis le TGBT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réinjecter la totalité du volume extrait</li> <li>- Vaincre les pertes de charge cumulées des cuvelages d'injection et du réservoir.</li> </ul>	20 ans
	Réseaux d'eau géothermale de surface	Relier les deux forages du doublet en traversant l'échangeur de chaleur	25-30 ans

## 2.7.4. Contraintes liées au fluide

### 2.7.4.1. Corrosion

L'eau du Dogger a une nature agressive, elle est de type chloruré sodique avec une salinité de l'ordre de  $27 \pm 1$  g/l qui lui donne un caractère corrosif. Des facteurs aggravants de la corrosion telles que l'activité bactérienne ou la teneur en sulfure, sont connus dans cet aquifère. La présence de gaz est également dommageable aux équipements, dès lors que la pression de point de bulle n'est pas respectée.

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.

La corrosivité de l'eau du Dogger non traitée est de l'ordre de 0,2 à 0,4 mm/an sur l'acier au carbone. L'utilisation de matériaux composites inertes pour la complétion du puits permet de s'affranchir de produit inhibiteur dans le tube de production dès la mise en service des installations. Il faut néanmoins installer deux pompes d'injection d'inhibiteur de corrosion et de bactéricide en surface de manière à protéger le tube de soutènement en acier et permettre la protection de l'ensemble des conduites de surface ainsi que le puits de réinjection.

D'autre part certaines règles de l'Art en matière d'exploitation, telles que le respect de la pression de point de bulle ou le choix de matériaux adéquats doivent être respectées.

Les processus de corrosion constituent un risque vis-à-vis de l'intégrité des cuvelages en acier et donc de pollution des aquifères sus-jacents au Dogger, en particulier celui de l'Albien. Le tube de soutènement en acier cimenté et la complétion en matériaux composites vont donc permettre de constituer une barrière étanche et minimiser le risque de perforation des cuvelages au droit de l'aquifère.

En tout état de cause, les paramètres de la corrosion font l'objet, en cours d'exploitation, d'un suivi rigoureux dont le contenu et la fréquence sont intégrés à l'arrêté préfectoral d'exploitation.

### 2.7.4.2. Risque de dépôts

La composition chimique de l'eau du Dogger induit un risque de dépôts de sulfures de fer et de carbonates (de fer et de calcium), dès lors que l'eau est refroidie et/ou dégazée.

Le niveau de risque est quantifié par l'indice de saturation du fluide vis-à-vis de chaque phase minérale susceptible de précipiter. Cet indice évolue en fonction du pH, de la température et de l'état d'oxydation de l'eau (potentiel redox). Le maintien d'une pression, en tout point de l'installation, supérieure à la pression de point de bulle, permet de limiter ce risque.

### 2.7.4.3. Filtration

A la production, l'eau du Dogger véhicule des particules dont la granulométrie et la quantité varient en fonction de la lithologie des niveaux producteurs et des vitesses d'écoulement dans la formation et les cuvelages. L'échangeur de chaleur à plaques est sensible à l'embouage et ses performances peuvent être rapidement dégradées par la présence de dépôts. Une filtration des fines particules doit être mise en place en entrée centrale et si besoin en entrée échangeur afin d'éviter le colmatage de ce-dernier.

La perte de charge sur ce filtre renseigne sur la charge solide du fluide et permet de recueillir des solides en vue d'analyses éventuelles.

A la réinjection, l'aquifère calcaire est relativement tolérant quant à la teneur en particules du fluide. Il est cependant sensible au colmatage si les phénomènes de corrosion et de précipitation de sulfures de fer deviennent importants. Sa sensibilité aux acidifications devrait permettre une bonne restauration des caractéristiques en cas de dégradation.

## 2.8. Modification de surface pour fonctionner en doublet à un débit géothermal de 240 m<sup>3</sup>/h

### 2.8.1. Bilan de l'existant

#### 2.8.1.1. Outils de production

#### Géothermie

Le doublet géothermique initial de Bonneuil-sur-Marne a été mis en service en 1985, aujourd'hui il assure environ 75,61 % des besoins de chaleur du réseau avec un nouveau puits injecteur foré en 2014 (GBL-3) et un sidetrack fortement dégradé (GBL-1ST) de l'ancien puits producteur GBL-1 foré en 2009.

Ce doublet fonctionnera en artésianisme assisté par pompe de gavage, et assurera les 240 m<sup>3</sup>/h de débit nécessaire.

La boucle géothermale comprend les éléments suivants (Cf. figure ci-dessous) :

- Un puits de réinjection GBL-3 (2014) en 6'' ;
- Un puits de production GBL-1ST (2009) en 6'' ;
- Une pompe d'injection de produit inhibiteur et la cuve associée
- Pompe de gavage                           STERLING SIHI
- Pompe de réinjection                   STERLING SIHI                           type C850 100315/315,
- moteur réinjection                   JEUMONT SCHNEIDER                type FNCF 315 LR2 B3 BR 165 KW
- pompe charge échangeurs           STERLING SIHI                           type C850 100315/315,
- moteur charge échangeurs          JEUMONT SCHNEIDER                type FNCF 315 LR2 B3 BR 140 KW
- 2 échangeurs géothermaux          ALFA LAVAL                            A 15 BFG (puissance unitaire de 6,5MW)
- 1 échangeur géothermal            VICARB                                   V180 (puissance unitaire de 9,6MW)
- filtre                                     PHILIPPE                                EAP80 500 microns.



Tête du puits de réinjection GBL-3



Pompe de réinjection



Cuve de produit inhibiteur



Pompe de gavage



Tête du puits de production GBL-1ST



Echangeurs géothermiques

Figure 34 : Eléments existants du doublet actuel

## Chaufferie gaz

La chaufferie gaz a une puissance installée de 15 118 kW utiles et couvre environ 25% des besoins de réseau de chaleur.

### 2.8.1.2. Mixité énergétique

Aujourd'hui, le taux de couverture réel de la géothermie varie en pratique est de 75,61% selon la rigueur climatique. La géothermie constitue donc la base thermique du réseau du 1<sup>er</sup> novembre au 31 mars.

L'appoint est assuré par une chaufferie gaz constituée de :

- 2 chaudières Guillot Ygnis WA de puissance unitaire 2 907 kW ;
- 2 chaudières Guillot Ygnis WA de puissance unitaire 4 652 kW.

## 2.8.2. Réseau de chaleur

### 2.8.2.1. Organisation et régimes de fonctionnement

Le réseau de chaleur dessert 4300 équivalents-logements de la commune de Bonneuil-sur-Marne, dont des logements et des bureaux. D'une longueur de 5 500 mètres, il alimente 42 sous-stations (Cf. Figure 36).

Afin de tirer le maximum de bénéfice de la ressource géothermale, l'architecture et l'évolution du réseau a toujours été faite afin d'avoir la température réseau la plus basse possible.

Les bâtiments raccordés sur le réseau fonctionnent selon deux types de régimes :

- bâtiments dits « haute température » (régime par  $-7^{\circ}\text{C}$  :  $90^{\circ}\text{C}/55^{\circ}\text{C}$ ) ;
- bâtiments dits « basse température » (régime par  $-7^{\circ}\text{C}$  :  $55^{\circ}\text{C}/35^{\circ}\text{C}$ ).

Afin d'optimiser la récupération thermique de la géothermie, les retours des bâtiments « haute température » sont utilisés pour chauffer les bâtiments « basse température » (voir schéma ci-dessous). Cette conception du réseau permet dans la configuration du doublet d'avoir des températures de retour réseau autour de  $39^{\circ}\text{C}$  et ainsi optimiser le taux de couverture géothermique.

Le schéma à la Figure 35 illustre le principe de fonctionnement du réseau de chaleur de Bonneuil-sur-Marne par  $-7^{\circ}\text{C}$ .

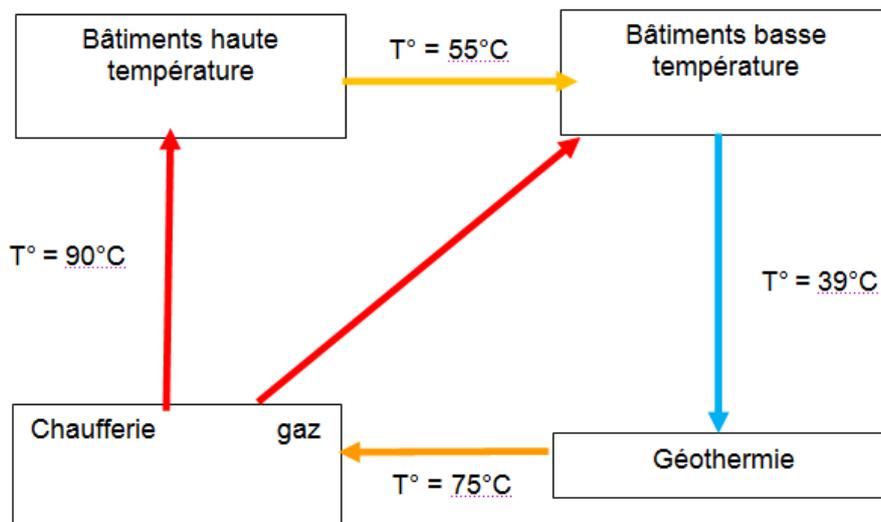


Figure 35 : schéma de principe du réseau de chaleur de Bonneuil-sur-Marne

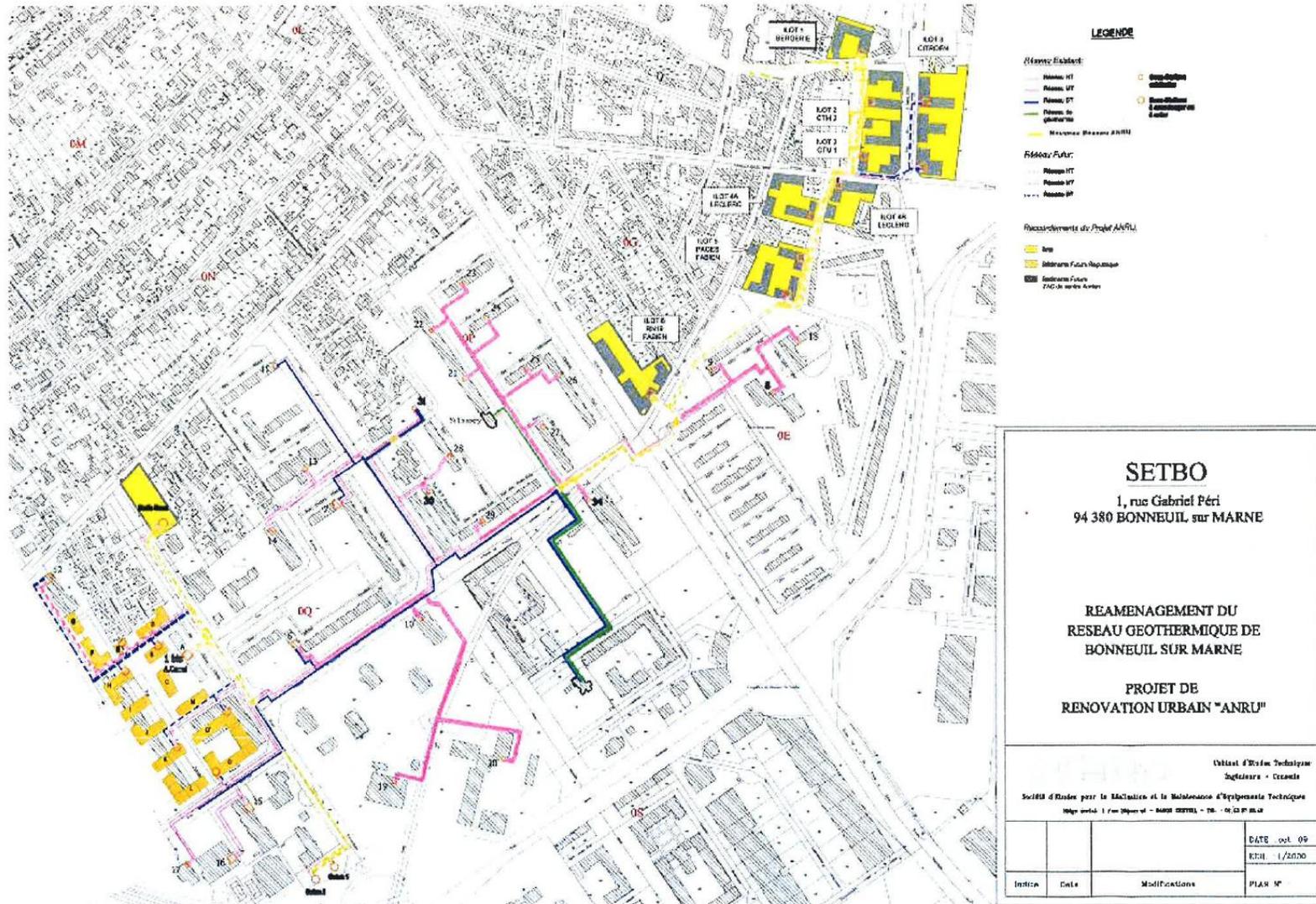


Figure 10 : Réseau géothermique de Bonneuil sur Marne

Figure 36 : réseau géothermique de Bonneuil-sur-Marne au terme du projet ANRU

### 2.8.2.2. *Simulations*

Les simulations du réseau de chaleur à base de géothermie et d'appoint gaz (dans sa configuration actuelle) permettent de réaliser un bilan énergétique mensuel des consommations sur une année type.

Est ensuite simulée l'installation projetée en vue de définir l'adaptation des installations existantes, entre autres :

- le réseau boucle géothermale (canalisations calorifugées, câbles électriques d'alimentation et de commande, etc.) ;
- les échangeurs ;
- la pompe de gavage ;
- la pompe de réinjection ;
- la pompe charge échangeurs réseau géothermique ;
- le système de filtration géothermale ;
- le réseau géothermique.

Cette partie sera réalisée par le bureau d'études surface SERMET. Dans le cadre du projet, la configuration finale sera présentée à l'occasion de la demande de permis d'exploitation que déposera le SETBO à l'issue des travaux.

## 2.9. Contrôles périodiques et suivi de l'exploitation

L'exploitant du réseau de chauffage urbain assurera, par l'intermédiaire de ses propres équipes techniques, le suivi quotidien et la maintenance préventive des installations de surface en relation avec la production géothermale (boucle géothermale et centrale géothermique).

Pour ce qui concerne les ouvrages du sous-sol, il s'appuiera sur les compétences d'un bureau d'études technique spécialisé en maintenance et en travaux sur puits.

Les principales tâches techniques associées à l'entretien préventif et curatif des puits sont décrites dans ce chapitre. Le descriptif s'appuie sur le contenu et les fréquences prescrites dans l'arrêté préfectoral d'exploitation en vigueur dans l'installation actuelle de Bonneuil-sur-Marne (Cf. Annexe 1).

### 2.9.1. *Contrôle périodique de la ressource*

Le contrôle se conformera à l'arrêté préfectoral autorisant l'exploitation actuelle (Cf. Annexe 1). L'exploitant de surface réalise quotidiennement un relevé des débits, températures, pressions et de l'énergie thermique transférée au réseau. Cette surveillance permet de s'assurer du bon fonctionnement des installations et d'optimiser l'appoint sur le réseau.

Sur cet enregistrement doivent apparaître également les interventions telles que les nettoyages de filtre, les contrôles particuliers et les incidents survenus sur la boucle géothermale. La vérification des appareils de mesures doit être effectuée au moins une fois par an par un organisme compétent. Cet enregistrement est tenu, sur place, à la disposition des agents de la DRIEE, avec les événements enregistrés au cours des cinq dernières années.

Ces données, relevées à fréquence imposée par la DRIEE sont consignées dans un classeur et transmises trimestriellement à la DRIEE.

## 2.9.2. Installations et équipements

Un suivi des paramètres électromécaniques des équipements de production constituant la boucle géothermale (variateurs de fréquence, vannes, échangeurs...) sera réalisé.

Ces auscultations permettent de détecter des dérives ou l'évolution de paramètres symptomatiques de dysfonctionnements de matériel ou l'évolution des paramètres hydrodynamiques de l'ensemble réservoir/puits. Toute dérive fait l'objet d'une analyse conduisant, si besoin, à l'organisation d'une intervention d'entretien ou de renouvellement.

Les éléments suivants sont rapportés et comparés avec ceux de l'auscultation précédente tous les trois mois :

- productivité des puits d'exhaure (niveau hydrodynamique et rabattement) ;
- injectivité du puits d'injection ;
- état du groupe de pompage d'injection (consommation électrique, puissance, rendement) ;
- bilan thermique des échangeurs (efficacité, pertes de charge) ;
- état des dispositifs de sécurité et de mesure : vannes de barrage en tête de puits, clapets anti-retour, manomètres, thermomètres...
- état des régulations.

Chaque intervention sur site fera l'objet d'un rapport détaillé où seront reportées les mesures réalisées, les observations particulières, les recommandations et toute suggestion relative à un éventuel désordre. Le rapport sera diffusé à la DRIEE, au maître d'ouvrage et aux entreprises impliquées dans l'exploitation.

## 2.9.3. Etat des tubages

### 2.9.3.1. Principe des diagraphies différées

Le principe d'une diagraphie est de faire remonter à faible vitesse le long du tubage un outil de mesure afin d'obtenir les variations d'épaisseur du tubage dues aux dépôts ou à la corrosion.

### Calibrage des tubages

Classiquement, pour vérifier l'état des tubages, ce sont les diagraphies de diamétrage qui sont utilisées. Elles mettent en œuvre des outils multibras (40 ou 60 bras pour les plus courants) qui sont descendus au fond des puits et communiquent en surface, via une télémétrie et un câble de suspension, les valeurs des rayons maximum et minimum du tubage. Ces mesures permettent de mesurer les phénomènes de corrosion et de dépôts pouvant affecter les puits.

Les inspections sont réalisées tous les 3 ans sur les puits d'injection (et à l'issue de chaque opération de entoyage pour le puits GBL-3) et tous les 5 ans sur les puits de production. Les comptes rendus de diagraphie sont diffusés dans un délai de deux mois après leur réalisation au maître d'ouvrage et aux entreprises impliquées dans l'exploitation et le suivi ainsi qu'à la DRIEE.

Dans le cas d'une complétion en matériaux composites telles que planifiée pour le futur puits de production GBL-4, cette opération n'est pas envisagée car elle susceptible d'endommager les matériaux constituant la complétion. Une autre méthode est proposée dans le §2.9.3.2 suivant.

### Contrôle de cimentation

A la demande de la DRIEE des diagraphies de contrôle de cimentation des annulaires tubage x formation et (entrefers) tubage x tubage mettant en œuvre des outils de type CBL-VDL ou imageurs USIT/URS pourront être mis en œuvre.

### 2.9.3.2. Test d'étanchéité par la méthode de traçage à l'eau douce

Le traçage à l'eau douce est une méthode alternative aux diagraphies, qui permet indirectement, de mettre en évidence une fuite éventuelle affectant le cuvelage et le cas échéant de localiser cette anomalie. Elle peut venir en complément de la diagraphie quand celle-ci montre des indices de

percement afin de confirmer ou d'infirmer l'existence d'une fuite ou en remplacement dans le cas d'une complétion en matériaux composites. Elle est recommandée pour le suivi d'étanchéité du futur puits GBL-4.

#### 2.9.4. Le fluide géothermale : caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau

L'objectif du suivi chimique de la qualité du fluide géothermale est d'identifier d'éventuels problèmes survenant en sous-sol à partir de mesures effectuées en surface. Le titulaire du permis d'exploitation fait procéder aux analyses définies par l'arrêté préfectoral.

L'évolution de la composition et des propriétés de l'eau géothermale sont susceptibles de refléter une perturbation ou une évolution du réservoir géothermale et/ou des organes de production.

Un suivi régulier permet d'entreprendre toute action préventive à l'encontre des réactions susceptibles de perturber le fonctionnement des équipements de surface de la boucle géothermale :

- développement de colonies bactériennes ;
- développement de dépôts ;
- érosion par dégazage ;
- corrosion...

Le Tableau 13 présente les mesures réalisées dans le cadre du suivi actuel du doublet en application de l'arrêté d'exploitation en cours (Cf. Annexe 1).

**Tableau 13 : Détail des paramètres physico-chimiques suivis et périodicité selon l'arrêté préfectoral d'exploitation en vigueur**

Paramètres	Périodicité
Fer total et dissous, sulfure, mercaptans, pH, Eh, conductivité	Tous les deux mois
SiO <sub>2</sub> , Na, Ca, K, Mg, HCO <sub>3</sub> , Cl, SO <sub>4</sub> , Mn, NH <sub>4</sub> , Sr, F Comptage des particules microniques – Mesure de la filtrabilité et des matières en suspension Détermination de la présence de bactéries sulfatoréductrices et de ferrobactéries	3 fois par an
Mesure des teneurs en gaz libres et dissous : N <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> Recherche des traces d'O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> – Contrôle de la valeur du point de bulle Détermination du rapport gaz/liquide (GLR)	Une fois par an

A l'issue de chaque série de mesures, les éléments sont rapportés et comparés avec ceux de la visite précédente. Les mesures sont interprétées en termes de :

- variation de la composition chimique du fluide et notamment de sa conformité avec les caractéristiques de l'eau du Dogger au droit du site ;
- évolution de la quantité et de la qualité du gaz et implication sur les conditions d'exploitation ;
- examen des indicateurs de corrosion/dépôts ;
- évolution de la charge solide ;

- nature et abondance des colonies bactériennes.

Chaque intervention sur site fera l'objet d'un rapport détaillé. En cas d'anomalie constatée sur les résultats des analyses de type 1, le titulaire du permis fait procéder aux analyses de type 2 dans les meilleurs délais. Les interprétations conduisent, selon les cas, à des mesures correctives d'exploitation ou à des diagnostics de désordres nécessitant des actions curatives. Le rapport sera diffusé trimestriellement à la DRIEE, au maître d'ouvrage et aux entreprises impliquées dans l'exploitation.

#### 2.9.5. Indicateurs de corrosion et traitement anticorrosion

En complément du suivi chimique des paramètres indicateurs de la corrosion (fer et sulfures), le suivi de la corrosion sur ce doublet géothermal sera 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. Les coupons témoins sont réalisés dans un métal de même nuance que le tubage équipant les puits géothermiques. Ils permettent donc de simuler l'effet de la corrosion de l'eau géothermale.

Les résultats sont présentés dans les rapports trimestriels transmis à la DRIEE.

#### 2.10. Conditions d'arrêt d'exploitation du gîte géothermique

L'exploitation du gîte pourrait être arrêtée ou ne pas être initiée si l'une des situations suivantes se concrétisait :

- Si, en fin de travaux de forage, après stimulation du réservoir, les tests de production produisent des résultats insuffisants, ceux-ci ne pouvant être améliorés par les moyens disponibles ;
- Si la température en tête de puits de production chute de manière importante, telle que la chaleur géothermale n'est plus valorisable et compétitive par rapport à des modes de production d'énergie conventionnels;
- Si l'état des puits est tel qu'il ne permet plus d'assurer la production de la ressource géothermale dans le respect des normes environnementales requises, sans qu'une solution technique et économique soit envisageable.

Une déclaration d'arrêt d'exploitation et une procédure d'abandon et de sécurisation des ouvrages devront être adressées au Préfet par le maître d'ouvrage.

La décision d'abandon du doublet prend en compte des mesures de préventions des risques pour les aquifères superficiels, qui impliquent des protocoles de cimentation *ad hoc*.

Cette déclaration sera accompagnée des éléments suivants :

- un résumé des conditions conduisant à la décision de fermeture du doublet ;
- un plan de position des ouvrages concernés et leur coupe technique avant rebouchage ;
- la procédure d'abandon de puits appliquée (coupe après rebouchage) ;
- les mesures de prévention des risques identifiées, notamment celles concernant la protection des aquifères superficiels.

### **2.10.1. Protection des aquifères superficiels**

Avant de réaliser la cimentation des tubages au droit des zones à risque, il est indispensable d'effectuer le curage des puits afin de déterminer l'état complet de l'acier des cuvelages (sous dépôts) et de placer judicieusement les bouchons de ciment.

Le cas échéant et en fonction de la qualité de la cimentation des cuvelages au droit de l'aquifère de l'Albien / Néocomien, des bouchons supplémentaires pourraient être mis en place.

L'abandon sera réalisé dans le respect des règles de l'art en matière d'abandon de puits profonds et dans les conditions optimales de sécurité par rapport à la protection des aquifères sensibles, en évitant par conséquent toutes connections hydrauliques entre aquifères.

### **2.10.2. Coûts estimatifs des travaux d'abandon**

Les enveloppes budgétaires sont données à titre indicatifs dans les conditions économiques estimées du mois d'octobre 2015 et pour un ouvrage type. Elles ne prennent pas en compte la spécificité des puits à abandonner (voir par exemple le chapitre 1.4.3 pour un programmes ajusté à la situation de puits GBL-1ST)

Les travaux de curage représentent à eux seul la majeure partie du coût global d'abandon. Ces coûts prennent en compte l'ensemble des travaux d'abandon des ouvrages qui nécessitent :

- l'amené-repli et les charges opérationnelles d'un appareil de forage sur site ;
- les coûts d'ingénierie et de supervision des travaux.

Le coût serait de l'ordre de 525 k€ HT par puits.

## **2.11. Résumé de l'étude d'impact sur l'environnement**

L'occupation du sol au niveau de la parcelle accueillant les puits existants GBL-1ST, GBL-2 et GBL-3 permet d'envisager la réalisation d'un nouvel ouvrage sur la plate-forme actuelle.

Pour ce faire, sous le respect du Code minier, une demande de permis de recherche d'un gîte géothermique basse température au Dogger ( Chapitre 2) et une demande d'ouverture de travaux de forage pour un nouveau puits producteur sur la commune de Bonneuil-sur-Marne (94) (Chapitre 3) sont réalisées par le maître d'ouvrage, le syndicat mixte SETBO, qui les soumet aux administrations concernées.

Du point de vue réglementaire, ces demandes doivent être accompagnées d'une étude d'impact environnemental du projet relative aussi bien à la phase travaux qu'à la phase exploitation. Cette étude d'impact fait l'objet du chapitre 4. Elle a pour but de :

- réaliser l'état initial du site et de son environnement ;
- recenser les impacts des travaux sur l'environnement afin de définir la meilleure implantation du forage et l'organisation de chantier de moindre impact, en intégrant les observations effectuées lors de l'état initial ainsi que les contraintes techniques, économiques et géologiques ;
- évaluer les effets permanents engendrés par le projet sur le milieu physique, naturel et humain, qu'ils soient positifs ou négatifs et de présenter les mesures compensatoires envisagées.

Les mesures prévues pour supprimer, réduire ou éviter la survenance de tels accidents interviennent à différents niveaux : à la conception de l'ouvrage ; lors de la réalisation de l'ouvrage ; en cours d'exploitation ; lors des contrôles périodiques dits réglementaires.

### 2.11.1. Impacts en cours de travaux

La réalisation d'un forage profond (à 1770 mètres, profondeur verticale) n'est pas neutre en termes d'impact environnemental durant la période du chantier dont la durée est estimée à 45 jours environ.

Ces impacts portent principalement sur : l'aspect visuel du site ; la circulation routière ; l'environnement sonore ; les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines.

L'installation de l'appareil de forage sur le site est une difficulté majeure du projet. Cette installation devra prendre en compte deux aspects importants :

- l'exigüité du site avec la préexistence de trois têtes de puits ;
- la proximité de riverains susceptibles de subir des nuisances pendant la phase travaux.

Pour ce qui concerne l'aspect visuel, le maître d'ouvrage mettra en œuvre des mesures techniques et organisationnelles visant à réduire ou supprimer l'impact des travaux au voisinage du site comme par exemple la mise en place d'une clôture autour du chantier.

Pour ce qui concerne la circulation routière, le maître d'ouvrage mettra en œuvre des mesures pour ne pas entraver la circulation sur les voies d'accès au chantier puis à la centrale géothermique. Si besoin, un protocole sera établi en concertation avec les services techniques de la Ville et des Routes et Chaussées (DIRIF) pour l'organisation des transports lors des phases d'amenée/repli des matériels et d'approvisionnement du chantier.

Du point de vue de l'environnement sonore, sans toutefois préjuger des effets de site (topographie, conditions météorologiques...), il apparaît que de jour le chantier et son environnement devraient être aussi bruyant qu'une salle de classe ou une habitation. Pour ce qui concerne la période nocturne, toutes les mesures seront prises pour respecter la législation en vigueur. Afin de limiter l'impact sonore du chantier la nuit, les activités les plus génératrices de nuisances sonores seront réalisées uniquement de jour. Ainsi, la principale gêne devrait être liée, de jour comme de nuit, aux chocs des tiges métalliques et au BIP de recul des engins de chantier.

Pour ce qui concerne les risques de pollution des sols et des aquifères traversés par les forages, ils sont réduits, sinon éliminés, par (i) l'utilisation de boues à l'eau compatibles avec le milieu naturel, (ii) l'évacuation des résidus solides (déblais, lavés de forage, surnageants, déshydratés, des boues) vers des sites de stockage et de traitement agréés par l'administration minière et environnementale, (iii) la mise en place de tubages acier cimentés et d'une complétion en matériaux composites, (iv) une aire de travail bitumée et cimentée (plateforme de forage et caves de têtes de puits) équipée d'un réseau de recueil/drainage des eaux de ruissellement, et (v) la disponibilité d'une surcapacité de stockage (bacs, bennes, citernes), ainsi qu'une ligne de traitement/refroidissement des effluents liquides (eaux d'essais), gazeux (inhibition des gaz dissous) et solides (filtration des particules en suspension).

Enfin, les équipements et personnels d'exécution/encadrement sont éprouvés et expérimentés en matière de forages géothermiques et pétroliers, et rompus aux exercices/*briefings* de sécurité exigés par la profession et l'administration minière de tutelle.

### 2.11.2. Impacts en cours d'exploitation

Il n'existe aucun site Natura 2000 à proximité des forages.

Au plan des interférences avec les exploitations voisines, la modélisation des transferts de masse et de chaleur au sein du réservoir géothermal indique un impact en pression inférieur à un bar et une interférence thermique nulle sur les puits géothermiques, limitrophes existants et projetés (Créteil, Villeneuve Saint Georges et Sucy-en-Brie).

Les fuites en sous-sol induites par des percements de tubages sont peu probables en raison des mesures d'inhibition chimique en fond de puits de protection anticorrosion. En outre, la cimentation des tubages et l'utilisation innovante de matériaux composites pour la complétion permet d'assurer

une double protection sur l'ensemble du puits. Ceci étant conforme aux prescriptions du SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) et du SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) édictées par l'Agence de Bassin (Seine Normandie) compétente.

La réalisation d'un puits foré en diamètre 12''<sup>1/4</sup> au Dogger (prévisionnel de 2068 mètres de profondeur forée soit 1770 m de profondeur verticale), nécessite autour de la tête de puits, une aire vierge de végétation et de construction, horizontale et traitée en voirie lourde. A l'issue des travaux, une aire de « servicing » d'au moins 1000 m<sup>2</sup> sera aménagée autour des têtes de puits du doublet pour en assurer la maintenance. Le site géothermique de Bonneuil-sur-Marne se situe dans une zone fortement urbanisée. Le site d'implantation de la tête de puits de GBL-4 sera localisé dans l'enceinte actuelle de la centrale géothermique située sur une parcelle mise à la disposition du SETBO par la Ville de Bonneuil-sur-Marne. La future tête de puits sera à une distance d'environ 30 mètres de la centrale d'échange. Pour ce qui concerne l'aspect visuel dans le cadre de l'exploitation, comme pour les puits GBL-1ST, GBL-2 et GBL-3, la tête de puits du forage GBL-4 sera placée dans une cave afin d'être protégée et partiellement dissimulée.

Enfin il est judicieux de rappeler que par nature l'application géothermale présente de nombreux atouts vis-à-vis de solutions alternatives, notamment sur le plan énergétique (taux de couverture d'environ 75,61% d'EnR), sur le plan économique et bien entendu sur le plan environnemental.

### 3. DEMANDE D'AUTORISATION D'OUVERTURE DE TRAVAUX DE FORAGE (PUITS DE PRODUCTION)

#### 3.1. Mémoire exposant les caractéristiques principales des travaux prévus pour la réalisation du puits GBL-4

Ce chapitre est consacré à la présentation du programme technique prévisionnel de réalisation du puits GBL-4 du doublet de Bonneuil-sur-Marne sur le site de l'actuelle centrale géothermique.

Les contextes géologique et hydrogéologique ont été présentés précédemment (cf. Chapitre 2.3). Le nouveau puits sera réalisé dans l'enceinte de la centrale existante.

##### 3.1.1. Fiche résumé des travaux prévus pour la réalisation du puits GBL-4

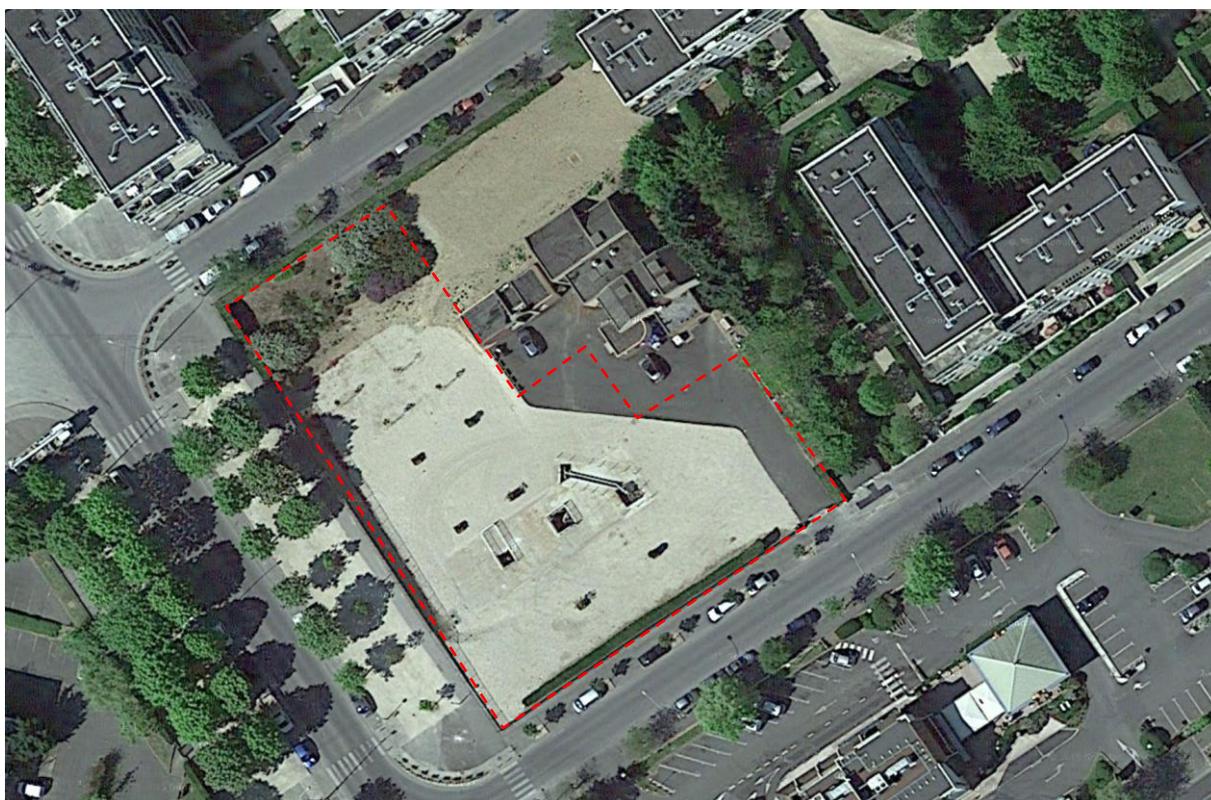
<b>Objectif</b>	<b>Réalisation d'un nouveau puits producteur pour constituer un doublet géothermique</b>
<b>Localisation du site d'implantation</b>	Centrale géothermique, 1 rue Gabriel Péri, 94380 Bonneuil-sur-Marne Val de Marne (94)
<b>Maître d'Ouvrage</b>	Syndicat mixte SETBO
<b>Nomenclature minière</b>	Forage de gîte géothermique (basse température)
<b>Aquifère cible/ressource sollicitée</b>	Calcaires oolithiques du Dogger (Bathonien)
<b>Type d'ouvrage</b>	Forage/complétion de puits de production à trajectoire déviée (max 36°), orienté à partir d'une plate-forme. Tubé 20'' x 13'' <sup>3/8</sup> et complétion 13'' <sup>3/8</sup> x 9'' <sup>5/8</sup> . (double protection de l'ensemble du puits)  Réservoir exploité en découvert.  Exploitation de la géothermie en production artésienne avec assistance par pompe de gavage. Débit max escompté 240m <sup>3</sup> /h, température 79°C.
<b>Réseau de chaleur</b>	5,5 km qui alimentent 42 sous-stations, une partie des besoins de chaleur de 4300 équivalents logements : 75,61 % géothermie (1 doublet) et 25 % gaz (2 chaudières de 2907 kW et 2 chaudières de 4652 kW)
<b>Profondeur finale</b>	1770 m verticaux / 2068 m forés. La profondeur finale pourra être inférieure ou supérieure en fonction des résultats observés
<b>Date prévisionnelle de début des travaux</b>	Deuxième trimestre 2017 après la notification des autorisations administratives
<b>Durée prévisionnelle des travaux sur site</b>	Environ 11 semaines y compris l'abandon du puits GBL-1ST et 45 jours de forage. Cf. Planning Annexe 5

### 3.1.2. Implantation du nouveau forage GBL-4

Le nouveau puits producteur sera implanté sur la commune de Bonneuil-sur-Marne (département du Val-de-Marne, 94), à proximité des puits GBL-1ST, GBL-2 et GBL-3 situés dans l'actuelle enceinte de la centrale géothermique. Ce terrain est à ce jour clos. Il est accessible par la rue Gabriel Péri.

Le Ville de Bonneuil-sur-Marne a mis à la disposition du syndicat mixte SETBO, la parcelle référencée n° 133 section UCc sur le cadastre national informatisé.

Dans l'enceinte du site, une surface de chantier d'environ 3200 m<sup>2</sup> est disponible pour accueillir l'implantation d'une machine de forage capable de forer à une profondeur d'environ 2068 mètres forés en diamètre final 12''<sup>1/4</sup> au réservoir. C'est une contrainte forte de ce chantier qui devra être prise en compte lors du choix de la machine de forage. La surface de chantier disponible dans l'enceinte du site est représentée en rouge sur la Figure 37.



**Figure 37 : Limite de l'emprise de chantier sur le site de la centrale géothermique de Bonneuil-sur-Marne**

### 3.1.3. Travaux d'aménagement pour la réalisation du puits GBL-4

L'aire de chantier en configuration de forage comportera :

- **une aire empierrée et compactée** ; l'empierrement et le compactage sont réalisés de manière à permettre le passage des camions, des engins de manutention et de transport des équipements lors de la mise en place et du démontage du chantier, et le passage des engins de manutention des consommables et des matériels tubulaires lors des travaux ; cette aire est donc généralement traitée en « voirie lourde » ;
- **un réseau de caniveaux** disposé autour des bassins de fabrication et de circulation de la boue de forage ; ce réseau de caniveaux est destiné à drainer les effluents boueux vers les bassins par l'intermédiaire d'un bac déshuileur qui piège les effluents polluants ;
- trois bassins étanches destinés à la récupération des déblais solides et liquides produits par le forage ainsi que l'eau géothermale lors de la phase d'essai des puits ; / Il n'est prévu aucun bournier ni fosses à déblais et essais, la gestion des déblais et fluides de forage étant assurée via des bacs, pelletage/bennes et citernage et celle des essais au moyen de bacs et une unité de traitement (ligne de traitement sans bournier) par décantation de solides, refroidissement et dilution des eaux produites.

Ces ouvrages sont destinés à être détruits à l'issue des travaux de forage. A l'issue des travaux de forage, restera à demeure sur le site :

- **une cave en béton armé avec son extension** au centre de laquelle est positionné le puits avec son empilage de vannes de sécurité et adaptateurs ; la profondeur de la cave est adaptée à l'utilisation ultérieure du puits, la largeur et la longueur étant liées aux dimensions de la sous-structure de l'appareil de forage (Cf. Figure 38).

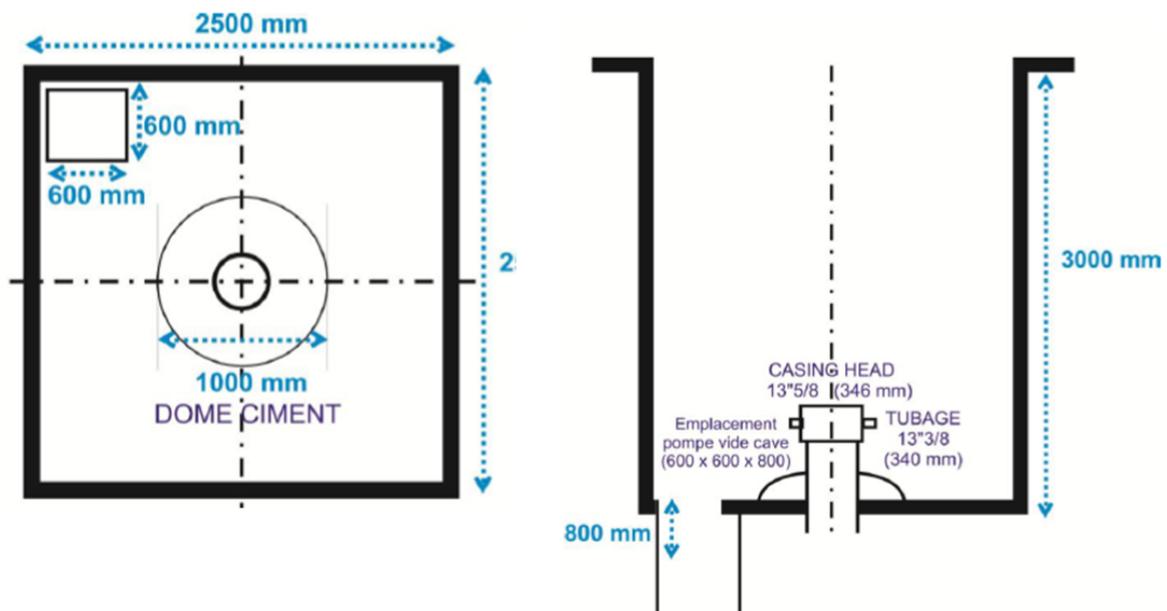


Figure 38 : Plan de génie civil type d'une cave standard (un seul puits)

Des aménagements peuvent être apportés à ce plan type. Le degré de liberté est moindre pour l'implantation du puits et donc de la dalle bétonnée sur la plate-forme, cette position étant imposée par l'espace nécessaire pour la mise en place des équipements (le mât de forage par exemple est assemblé à terre et nécessite donc un espace suffisant dans l'axe avant de la dalle).

### 3.1.4. Travaux de forage du puits GBL-4 anti-corrosion

#### 3.1.4.1. Introduction - rappel historique

Le doublet géothermique de chauffage urbain de Bonneuil-sur-Marne, a subi depuis sa mise en service en 1985 (doublet originel GBL-1/GBL-2), deux phases de reconstruction successive:

- (i) La transformation en doublet **GBL-1-ST/GBL-2** consécutivement à la recomplétion en déviation (sidetrack – ST) du puits producteur GBL-1, puis
- (ii) La création du doublet actuel **GB1-ST/GBL-3**, suite au forage du nouvel ouvrage injecteur GBL-3 en remplacement du puits GBL-2. Le puits GBL-2 a été rendu hors d'usage suite à l'échec des travaux de rechemisage en 2012. Cet échec est probablement dû à une thermochimie corrosive récurrente du fluide géothermal.

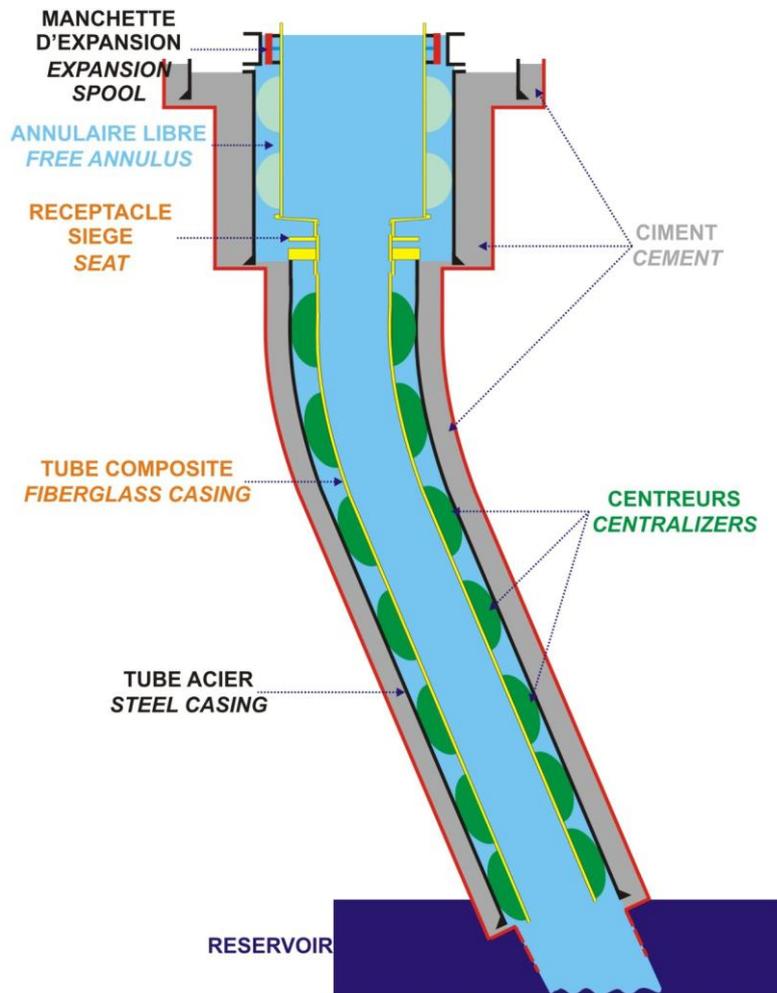
Dans ces conditions la mise en œuvre éventuelle d'un concept de puits anticorrosion, faisant appel à une architecture combinant tubages de soutènement acier et colonne de production en matériaux composites, apporte une solution matériau à la corrosion et mérite un examen approfondi, objet de la présente étude.

#### 3.1.4.2. Concept de puits anticorrosion

L'idée d'exploiter les propriétés des matériaux composites dans la conception des ouvrages géothermiques n'est pas complètement nouvelle comme en témoigne l'itinéraire historique rappelé en Annexe 6. Pour nous limiter aux applications à la géothermie en Ile-de-France, mentionnons, à la suite de la réalisation pionnière de Villeneuve-la-Garenne (TOTAL, tubages composites cimentés, 1976), le rechemisage d'une chambre de pompage (GPC, annulaire composites x acier cimenté, 1992) et, *last but not least*, le forage et la complétion sur le site emblématique de Melun d'Almont, du puits de production PM4, première application du concept de puits anti-corrosion illustré en Figure 39 combinant tubages de soutènement acier et colonne de production en matériaux composites à annulaire libre (GPC, 1995), ainsi que la photo d'un tube 9''<sup>5/8</sup> en matériaux composites remontés au jour après 13 ans de service (puits de production de La Courneuve Sud GLCS-1, sur lequel on constate la présence sur l'extrado du tubage MC, exposé à l'eau géothermale dans une zone stagnante quasi-statique, soit un environnement particulièrement corrosif, la décalcomanie demeurée intacte du logo du manufacturier.

L'ouvrage de Melun exploité en mode de production artésienne, au débit nominal de 300 m<sup>3</sup>/h sous une pression en tête de puits de 2 bar, n'a connu **en vingt années d'exploitation** aucune intervention de service puits hormis le changement de la vanne maîtresse de tête.

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



**Figure 39 : Concept de puits géothermique anticorrosion et Tubes (9<sup>5/8</sup>) en matériaux composites remontés au jour après 13 ans de service (puits de production GLCS1 de La Courneuve Sud) (source : GPC IP)**

### 3.1.4.3. Travaux préparatoires

Conformément à l'arrêté du 30 mai 1975, le chantier devra, dès la prise de possession des lieux et pendant toute la durée du chantier jusqu'à la réception des travaux, être signalé, à un endroit visible de l'extérieur, avec les mentions :

- nature et description des travaux ;
- maître d'ouvrage ;
- maître d'œuvre ;
- entreprises intervenantes.

Un balisage devra être mis en place pour en interdire l'accès aux personnes non autorisées.

Ce balisage sera équipé de panneaux « chantier interdit au public » et « port des équipements de protection individuelle » à chaque accès.

Un balisage de guidage sera également mis en place aux environs du chantier sur les principales voies d'accès, pour faciliter l'accès au chantier des fournisseurs et des différentes sociétés de service.

### 3.1.4.4. Profils des puits et coupes géologiques et techniques prévisionnelles

En dépit de ses avantages structurels l'application au site de Bonneuil est assujettie à plusieurs contraintes de trajectoires puits, respectivement :

- (i) les impacts au toit du réservoir des trajectoires candidates doivent rester circonscrites au périmètre d'exploration cartographié en Figure 7 ;
- (ii) leur inclinaison doit rester inférieure à 35-40° faute de quoi l'intégrité du matériau court un risque de vieillissement prématuré et de déstructuration (perlage) de composite, et ;
- (iii) l'espacement des impacts au toit du réservoir doit, dans les limites imposées par (i) et (ii), sécuriser une vie utile de nouveau doublet de trente ans équivalent à une percée thermique inférieure à 1°C.

Les deux trajectoires candidates, représentées en Figure 40 et Figure 41, correspondent à des cotes de départ (Kick Off Point, KOP) de la déviation de 350 et 400 m, soit à des dépôts latéraux au toit du réservoir respectifs de 820 et 750 m.

S'y ajoutent deux variantes de complétion acier/composites, relatives aux diamètres de forage et de tubage, portant ainsi à quatre le nombre d'architectures puits retenues en première analyse, décrites dans les tableaux 13 et 14, en Figure 43 et récapitulées dans les tableaux 15 à 18.

Les caractéristiques et propriétés des tubages composites retenus, manufacturés respectivement par les entreprises FPI [chambre de pompage posée en compression sur le siège réceptacle (Figure 39) et STAR (colonne de production fixée sous le siège réceptacle coulissant librement le long de son axe) sont consignées dans l'annexe 7.

Les trajectoires, en inclinaison et azimuths, des ouvrages existants et projetés, illustrées en Figure 43, suggèrent les commentaires suivants :

- (i) les impacts au toit du réservoir restent circonscrits au périmètre d'exploration visé en Figure 7 ;
- (ii) la trajectoire 2 (KOP @ 350 m/sol) est recommandée car elle réalise un déport latéral proche de 820 m au toit du réservoir sécurisant l'intégrité thermique du nouveau doublet ; et

- (iii) la trajectoire projetée évite tout risque d'intersection avec les trajectoires déviées des ouvrages existants.

#### 3.1.4.5. Programme de forage/complétion du puits GBL-4 et programme de boue

- La cote sol (m/sol) est choisie comme niveau de référence pour toutes les profondeurs.
- Les « bonnes pratiques pétrolières » seront à suivre pendant la réalisation des travaux.
- Les manœuvres dans les découverts sont réalisés à vitesse réduite afin de minimiser les risques de pistonage.
- L'annulaire ou l'intérieur des tiges doivent être remplis en fonction des manœuvres ; le niveau du *trip tank* doit être observé pendant ces manœuvres.
- Des *safety meetings* et/ou *pre-job meetings* doivent avoir lieu à chaque début de poste, et à chaque fois qu'une opération particulière est réalisée (descente cuvelage, cimentation, changement de fluide de forage, acidification ...).

Ce document est un *pre-job programme*, tous les modes opératoires peuvent être revus en fonction des situations réelles rencontrées en cours de travaux.

Les différents programmes de forage/complétion et programme de boue envisagés sont décrits en détails dans les tableaux qui suivent.

Tableau 14 : Programme de forage/complétion. Option matériaux composites 1 (OMC-1)

Tableau 15 : Programme de forage/complétion. Option matériaux composites 2 (OMC-2)

Tableau 16 : Programme de Forage/Complétion. Option Complétion Matériaux Composites 1 (OMC-1). Trajectoire 1 (OMC1)

Tableau 17 : Programme de Forage/Complétion. Option Complétion Matériaux Composites 1 (OMC-1). Trajectoire 2 (OMC2)

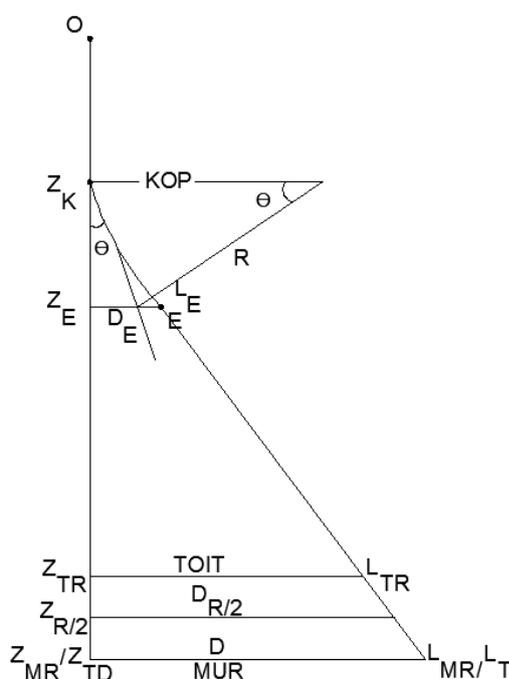
Tableau 18 : Programme de Forage/Complétion. Option Complétion Matériaux Composites 2 (OMC-2). Trajectoire 1 (OMC1)

Tableau 19 : Programme de Forage/Complétion. Option Complétion Matériaux Composites 2 (OMC-2). Trajectoire 2 (OMC2)

**Le choix retenu sera vraisemblablement celui correspondant aux Tableau 14 (trajectoire 2) et Tableau 17 ainsi qu'à la Figure 44 présentant les caractéristiques techniques les plus adaptées à une production en débit artésien assistée par pompe de gavage attendue à 250 m<sup>3</sup>/h : KOP à 350m, complétion du réservoir en 9''<sup>5/8</sup> et trou nu en 12''<sup>1/4</sup>.**

Les fluides de forage évolueront des boues bentonitiques simples (BBS) à des formulations mixtes bentonitiques/polymères (BBA) cellulosiques/Oglycols, puis à des boues à eau salée et biopolymères dégradables dans le réservoir objectif.

	(1)	(2)
Amorce de la déviation ( <i>kick off point</i> KOP) $Z_K$ (m/sol)	450	350
Profondeur verticale toit du réservoir (Bathonien) $Z_{TR}$ (m/sol)	1665	1665
Profondeur verticale mur du réservoir (Bajocien) $Z_{MR}$ (m/sol)	1770	1770
Inclinaison $\theta^\circ$	36,27	36,3
Gradient de montée (gradient de <i>build up</i> ) GBU ( $^\circ/10$ m)	1	1
Rayon de courbure R (m)	573	573
Déplacement au toit du réservoir DTR (m)	750	820
Déplacement au point milieu du réservoir ( $Z = D_{R/2}$ )	782	852
Cote verticale fin de montée $Z_E$ (m)	789	689
Longueur forée fin de montée $L_E$ (m)	813	713
Déplacement horizontal fin de montée $D_E$ (m)	111	111
Longueur forée au toit du réservoir $L_{TR}$ (m)	1898	1923
Profondeur verticale totale ( <i>total vertical depth</i> TVD) $Z_{TD}$ (m/sol)	1780	1780
Longueur totale forée $L_T$ (m)	2042	2007



**Figure 40 : Paramètre de trajectoires candidates. Option complétion matériaux composites (OMC)**

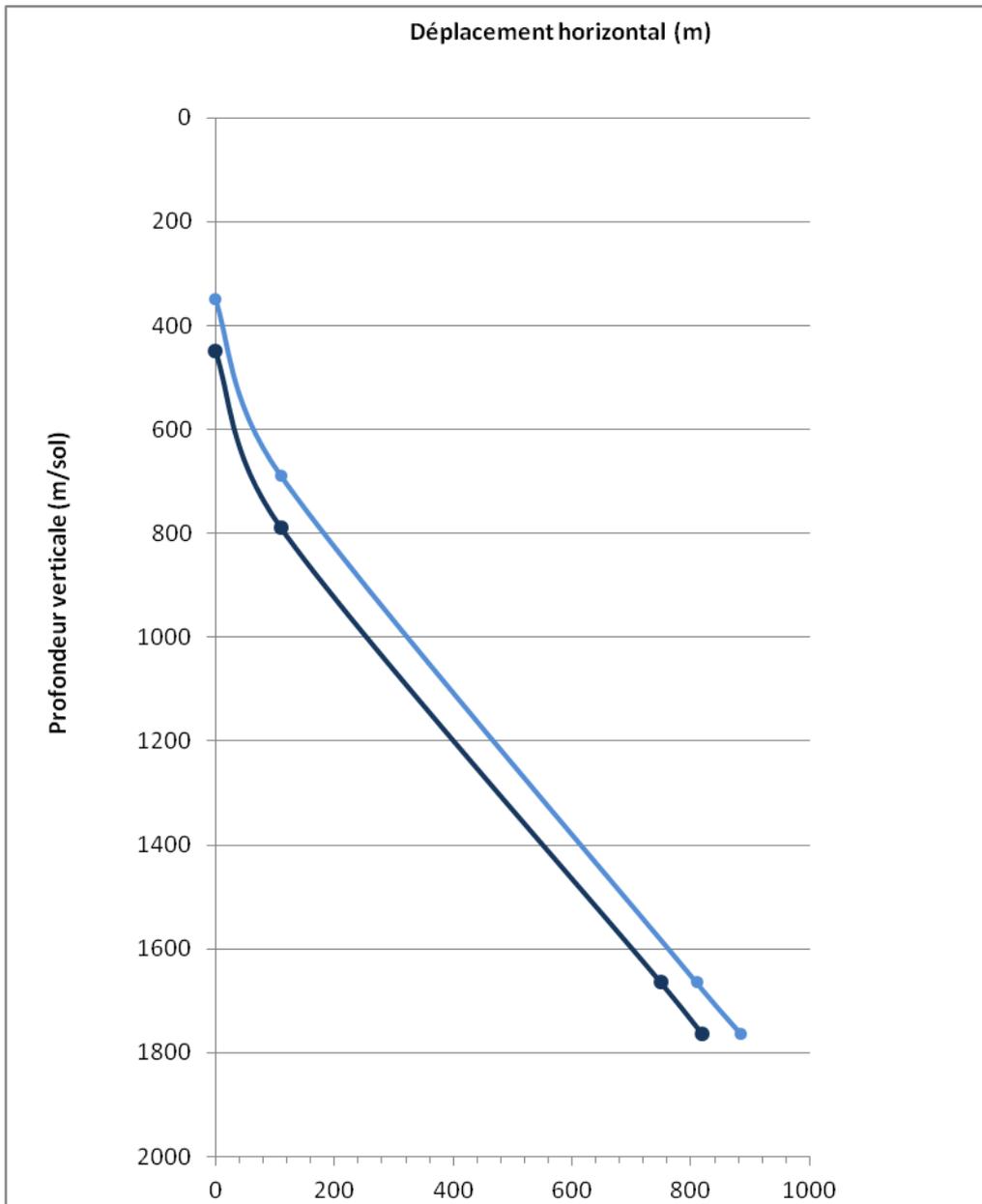


Figure 41 : Trajectoires candidates. Option complétion matériaux composites (OMC)

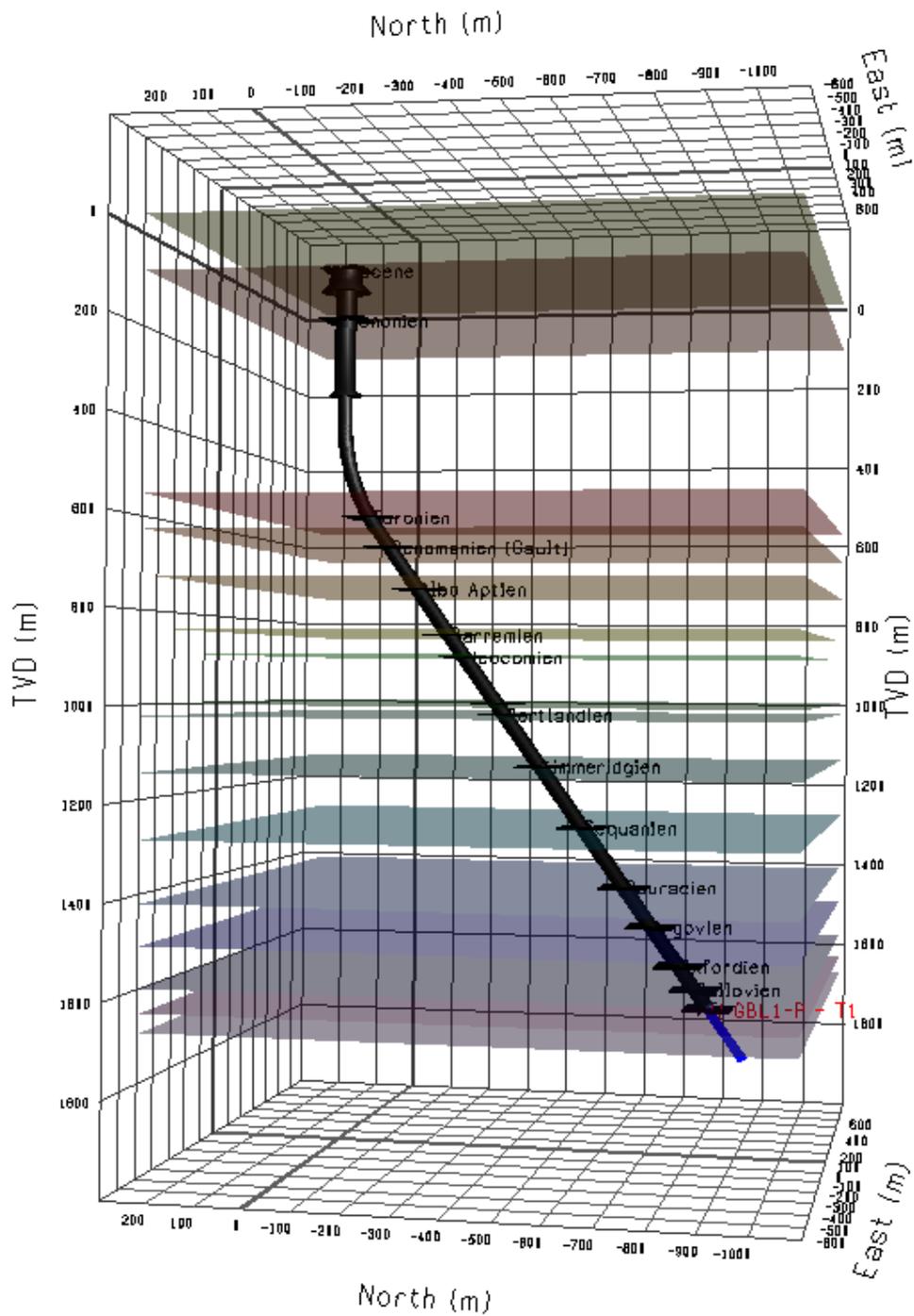


Figure 42 : Vue 2D du puits acier/composites GBL4-P

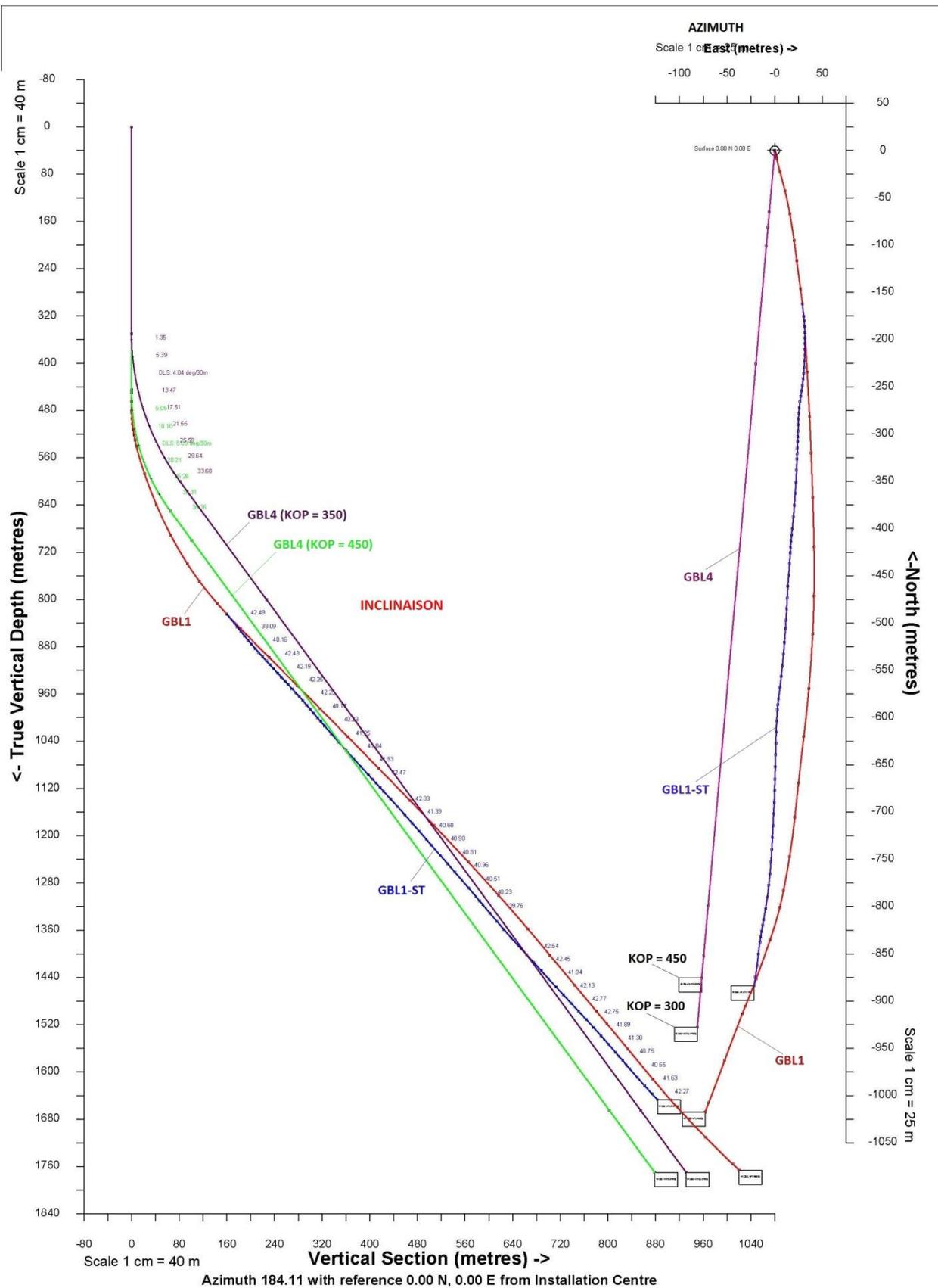
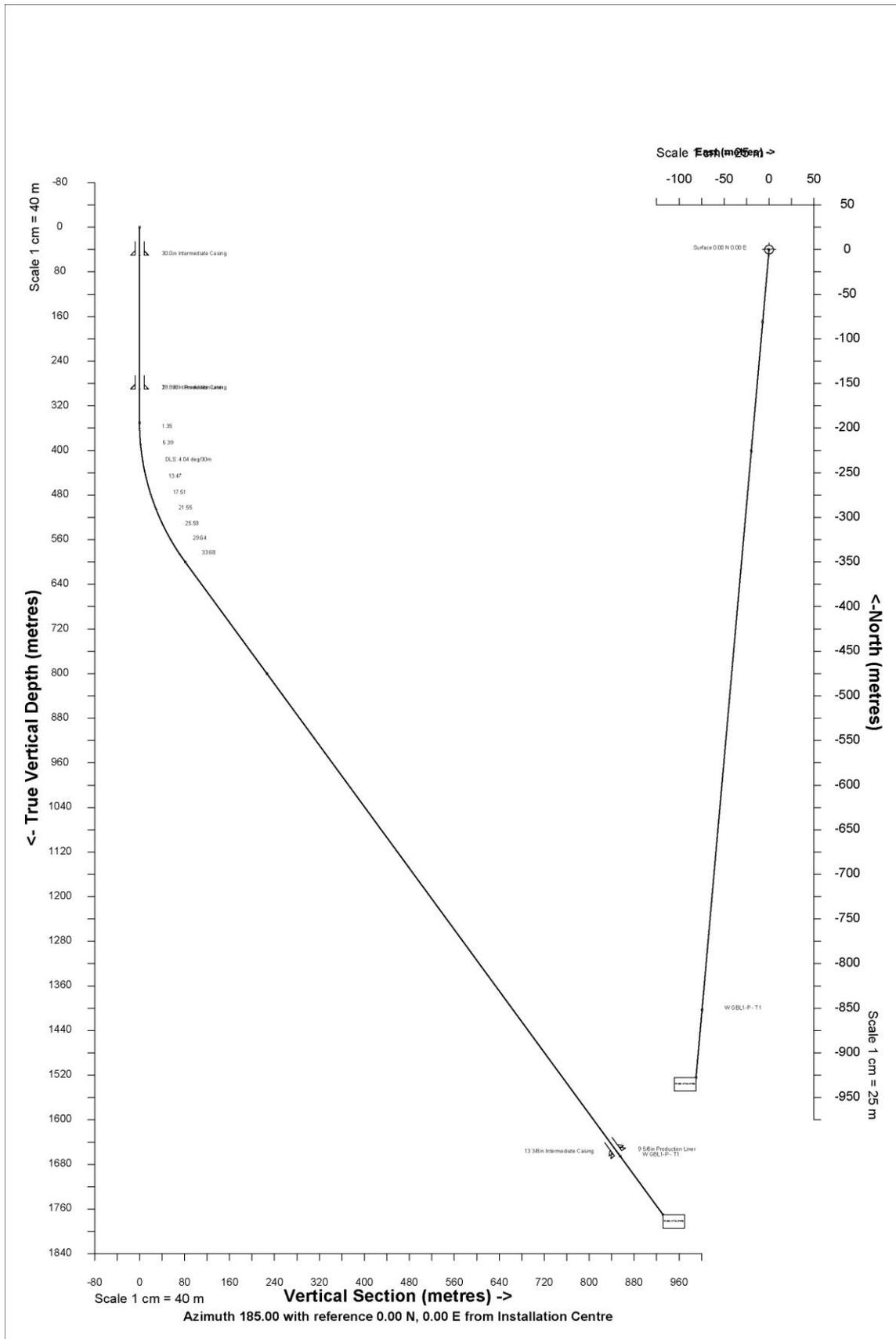


Figure 43 : Trajectoires (inclinaisons et azimuths) des puits existants et projetés



**Figure 44 : Profil du puits acier/composites GBL4 (KOP = 350 m)**

**Tableau 14 : Programme de forage/complétion. Option matériaux composites 1 (OMC-1)**

PHASES FORAGE		PHASES TUBAGES						OBSERVATIONS
Diamètre (")	Cote forées (m/sol)	Diamètre (")	Cotes (m/sol)/longueurs (m) tubées	Range	Matériau/nuance	Masse linéique (lbs/ft)	Filet	
<b>OPTION TRAJECTOIRE (1)</b>								
<b>COMPLETION <sup>(1)</sup></b>								
26	0 – 400	20 (A)	(0 – 395) / 395	2 ou 3	Acier/K55	94	BTC	KOP @ 450 m/sol (36,27°) ; 1°/10 m DV (ou RG° @ 400 m/sol Deplt.hor. 750 m
		13 <sup>n</sup> 3/8 (C)	(0 – 390) / 390	3	Composite/ACT	32,3	API 8 RD	
17 <sup>1/2</sup>	400 – 1925	13 <sup>3/8</sup> (A)	(395 – 1920) / 1525	3	Acier/K55	61	BTC	
		9 <sup>5/8</sup> (C)	(390 – 1915) / 1525	2	Composite/ACT		API 8 RD	
12 <sup>1/4</sup>	1925 – 2067	OH	–	DECOUVERT	OH		–	
<b>OPTION TRAJECTOIRE (2)</b>								
<b>COMPLETION <sup>(2)</sup></b>								
26	0 – 300	20 (A)	(0 – 295) / 295	2 ou 3	Acier/K55	94	BTC	KOP @ 350 m/sol (36,3°) ; 1°/10 m DV (ou RG° @ 300 m/sol Deplt.hor. 820 m
17 <sup>1/2</sup>	300 – 1948	13 <sup>n</sup> 3/8 (C)	(0 – 290) / 290	3	Composite/ACT	32,3	API 8 RD	
		13 <sup>3/8</sup> (A)	(295 – 1945) / 1650	3	Acier/K55	61	BTC	
		9 <sup>5/8</sup> (C)	(290 – 1940) / 1650	2	Composite/ACT		API 8 RD	
12 <sup>1/4</sup>	1948 – 2080	OH	–	DECOUVERT	OH		–	

DV : Diverting Valve

OH : Openhole

ACT : Advanced Coupling Thread

BTC: Buttress Thread Coupling

RG: Raccord Gauche

**Tableau 15 : Programme de forage/complétion. Option matériaux composites 2 (OMC-2)**

PHASES FORAGE		PHASES TUBAGES						OBSERVATIONS
Diamètre (")	Cote forées (m/sol)	Diamètre (")	Cotes (m/sol)/longueurs (m) tubées	Range	Matériau/nuance	Masse linéique (lbs/ft)	Filet	
<b>OPTION TRAJECTOIRE (1)</b>								
<b>COMPLETION <sup>(2)</sup></b>								
26	0 – 115	20 (A)	(0 – 115) / 115	2 ou 3	Acier/K55	94	BTC	KOP @ 450 m/sol (36,27°) ; 1°/10 m DV (ou RG° @ 400 m/sol Deplt.hor. 750 m
17 <sup>1/2</sup>	115 – 400	13 <sup>n3/8</sup> (A)	(0 – 395) / 395	3	Acier/K55	61	BTC	
		11 <sup>3/4</sup> (C)	(0 – 390) / 390	2	Composite/ACT	25,2	API 8 RD	
12 <sup>1/4</sup>	400 – 1925	9 <sup>5/8</sup> (A)	(395 – 1920) / 1525	3	Acier/K55	47	BTC	
		7 (C)	(390 – 1915) / 1525	2	Composite/ACT	8,90	API 8 RD	
8 <sup>1/2</sup>	1925 – 2067	OH	–	DECOUVERT	OH	–	–	
<b>OPTION TRAJECTOIRE (2)</b>								
<b>COMPLETION <sup>(2)</sup></b>								
26	0 – 115	20 (A)	(0 – 115) / 115	2 ou 3	Acier/K55	94	BTC	KOP @ 350 m/sol (36,3°) ; 1°/10 m DV (ou RG° @ 300 m/sol Deplt.hor. 820 m
17 <sup>1/2</sup>	115 – 300	13 <sup>n3/8</sup> (A)	(0 – 295) / 295	3	Acier/K55	61	BTC	
		11 <sup>3/4</sup> (C)	(0 – 290) / 290	2	Composite/ACT	25,2	API 8 RD	
12 <sup>1/4</sup>	300 – 1948	9 <sup>5/8</sup> (A)	(295 – 1945) / 1650	3	Acier/K55	47	BTC	
		7 (C)	(295 – 1940) / 1650	2	Composite/ACT	8,90	API 8 RD	
8 <sup>1/2</sup>	1948 - 2080	OH	–	DECOUVERT	OH	–	–	

DV : Diverting Valve    OH : Openhole    ACT : Advanced Coupling Thread    BTC: Buttress Thread Coupling    RG: Raccord Gauche



Tableau 16 : Programme de Forage/Complétion. Option Complétion Matériaux Composites 1 (OMC-1). Trajectoire 1 (OMC1)

COORDONNEES	TÊTES DE Puits	CIBLE PROJETEE	CIBLE ATTEINTE
X } Lambert NE Y } Z (m NGF)			

TVD	GEOLOGIE	PROFONDEURS (m/sol)		DIAMETRES DE FORAGE (")		TUBAGES/COMPLÉTION PROFIL Puits			PARAMETRES DE FORAGE	FLUIDES DE FORAGE	CIMENTATIONS	DIAGRAPHIES DIFFÉREES (*)	FORAGE DIRIGE
		TVD	MD	TVD	MD	TVD	PROFIL	MD					
100	Tertiaire	115	115	120	120	50	30" (CP)	118					
200	Sénonien					118	20" (CSG)					Phase 26"	
300						390	20" (CSG)	390	WOB = 2 - 10 t RPM = 60 - 90 t/mn Q = 2000 - 3000 l/mn	Boue bentonitique simplifiée adoucie	Innerstring (stinger et anneau) Pozzmix d=1,60 Ciment au jour	GR BGL	
400				430	430	400		400	17 1/2	WOB = 8 - 10 t RPM = 80 Q = 2500 l/mn	Bouchons visqueux BV = d=1,12/1,30 VM = 44/68 pH = 9		Phase 17" 1/2
500	Turonien	570	572							À partir de 450 m paramètres à définir par opérateur déviation	Boue bentonitique améliorée + additifs (réducteur de filtrat, lubrifiant, adoucisseur) 1,05/1,10; 48/60; 10		GR BGL
600	Cénomanien Gault (Albien sup)	640	651							Boue bentonitique améliorée + additifs (anti-gonflement argiles réducteur de filtrat adoucisseur) 1,04/1,10; 48/60; 10	Cimentation classique (sabot et anneau) Laitier de tête allégé d=1,30 Laitier de queue Classe G (Pozzmix) d=1,60 Additifs (fluidifiants, retardateurs...)	USI/URS CBL/VDL CIT	Fin du build-up 789 m/sol
700		800	898										
800	Albo-Aptien	840	898										
900	Barremien	890	960										
1000	Neocomien	995	1090										
1100	Purbeckien	1020	1121										
1200	Portlandien	1135	1263										
1300	Kimmeridgien	1270	1430										
1400	Sequanien	1400	1590										
1500	Rauracien	1485	1695										
1600	Argovien	1570	1800										
1700	Oxfordien	1620	1867										
1800	Callovien	1660	1912			1655	13" 3/8 (CSG)	1913					
1900	Bathonien	1770	2048	1665	1918	1680		1918	WOB < 6 t RPM < 60 tpm Q = 2500 - 2700 l/mn	Boue salée aux biopolymères + additifs (anti-mousse, dispersants, réducteur de filtrat, lubrifiant)		GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)	
2000				1775	2048	2048	12" 1/4 OH	2048				Phase 12" 1/4	

(\*) GR : Gamma Ray  
BGL : Borehole Geometry Log  
IND : Induction Log  
CALXY : OH (4 arm) Caliper  
CBL/VDL : Cement Bond Log/Variable Density Log  
CIT : Casing Inspection Tool  
URS : Ultrasonic Radial Scanner  
LDL : Litho Density Log  
CNL : Compensated Neutron Log  
BHC : Borehole Compensated Sonic  
FS : Fluid Sampler  
PLT : Production Logging Tools (incl. Flowmeter)  
VSP : Vertical Seismic Profile



Tableau 17 : Programme de Forage/Complétion. Option Complétion Matériaux Composites 1 (OMC-1). Trajectoire 2 (OMC2)

COORDONNEES	TÊTES DE Puits	CIBLE PROJETEE	CIBLE ATTEINTE
X } Lambert NE Y } Z (m NGF)			

TVD	GEOLOGIE	PROFONDEURS (m/sol)		DIAMETRES DE FORAGE (")		TUBAGES/COMPLÉTION PROFIL Puits		PARAMETRES DE FORAGE	FLUIDES DE FORAGE	CIMENTATIONS	DIAGRAPHIES DIFFÉREES (*)	FORAGE DIRIGE	
		TVD	MD	TVD	MD	TVD	PROFIL						MD
100	Tertiaire	115	115	55	55	50	30" (CP) 20" (CSG)	WOB = 2 - 10 t RPM = 60 - 90 t/mn Q = 2000 - 3000 l/mn	Boue bentonitique simplifiée adoucie Bouchons visqueux BV = d=1,12/1,30 VM = 44/68 pH = 9	Innerstring (stinger et anneau) Pozzmix d=1,60 Ciment au jour	Phase 26*	KOP @ 350 m/sol GBU 1' / 10 m	
200	Sénonien		26		290 295 300	290 295 300	20" (CSG) 13" 3/8 (TBG)	WOB = 8 - 10 t RPM = 80 Q = 2500 l/mn	Boue bentonitique améliorée + additifs (réducteur de filtrat, lubrifiant, adoucisseur) 1,05/1,10; 48/60; 10	17 1/2	GR BGL		Phase 17 1/2
300													
400	Turonien	570	581	430	430			À partir de 450 m paramètres à définir par opérateur déviation	Boue bentonitique améliorée + additifs (anti-gonflement argiles, réducteur de filtrat adoucisseur) 1,04/1,10; 48/60; 10	17 1/2	USI/URS CBL/VDL CIT		Fin du build-up 689 m/sol
500													
600	Cénomanien Gault (Albien sup)	640	666						Cimentation classique (sabot et anneau) Laitier de tête allégé d=1,30 Laitier de queue Classe G (Pozzmix) d=1,60 Additifs (fluidifiants, retardateurs...)	17 1/2	GR BGL		Incl. #36°
700													
800	Albo-Aptien	840	913										
900													
1000	Barremien	890	975	17 1/2									
1100													
1200	Neocomien	995	1105										
1300													
1400	Purbeckien	1020	1136										
1500													
1600	Portlandien	1135	1278										
1700													
1800	Kimmeridgien	1270	1445										
1900													
2000	Sequanien	1400	1606										
100													
100	Rauracien	1485	1711										
100													
100	Argovien	1570	1816										
100													
100	Oxfordien	1620	1878										
100													
100	Callovien	1660	1927	1665	1923	1655 1660	13" 3/8 (CSG) 9" 5/8 (TBG)	WOB < 6 t RPM < 60 tpm Q = 2500 - 2700 l/mn	Boue salée aux biopolymères + additifs (anti-mousse, dispersants, réducteur de filtrat, lubrifiant)	12 1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)	Phase 12 1/4	
100													
100	Bathonien	1770	2063	12 1/4		2063	12" 1/4 OH						
100													

(*) GR : Gamma Ray BGL : Borehole Geometry Log IND : Induction Log CALXY : OH (4 arm) Caliper	CBL/VDL : Cement Bond Log/Variable Density Log CIT : Casing Inspection Tool URS : Ultrasonic Radial Scanner LDL : Litho Density Log CNL : Compensated Neutron Log	BHC : Borehole Compensated Sonic FS : Fluid Sampler PLT : Production Logging Tools (incl. Flowmeter) VSP : Vertical Seismic Profile
--	---	--

Tableau 18 : Programme de Forage/Complétion. Option Complétion Matériaux Composites 2 (OMC-2). Trajectoire 1 (OMC1)

COORDONNEES		TÊTES DE PUIITS	CIBLE PROJETEE	CIBLE ATTEINTE
X	} Lambert NE			
Y				
Z (m NGF)				

TVD	GEOLOGIE	PROFONDEURS (m/sol)		DIAMETRES DE FORAGE (")		TUBAGES/COMPLÉTION PROFIL PUIITS		PARAMETRES DE FORAGE	FLUIDES DE FORAGE	CIMENTATIONS	DIAGRAPHIES DIFFÉREES (°)	FORAGE DIRIGE									
		TVD	MD	TVD	MD	TVD	PROFIL						MD								
100	Tertiaire	115	115	120	120	50	20" (CP)														
200	Sénonien	26	26	390	395	400	11" 3/4 (TBG)	WOB = 2 - 10 t RPM = 60 - 90 t/mn Q = 2000 - 3000 l/mn	Boue bentonitique simplifiée adoucie Bouchons visqueux BV = d=1,12/1,30 VM = 44/68 pH = 9	Innerstring (stinger et anneau) Pozzmix d=1,60 Ciment au jour	Phase 26"	KOP @ 450 m/sol GBU 1°/10 m									
300																					
400																					
500																					
600	Turonien	570	572	430	430	390	395	WOB = 8 - 10 t RPM = 80 Q = 2500 l/mn À partir de 450 m paramètres à définir par opérateur déviation	Boue bentonitique améliorée + additifs (réducteur de filtrat, lubrifiant, adoucisseur) 1,05/1,10; 48/60; 10	Cimentation classique (sabot et anneau) Laitier de tête allégé d=1,30 Laitier de queue Classe G (Pozzmix) d=1,60 Additifs (fluidifiants, retardateurs...)	Phase 17" 1/2	Fin du build-up 789 m/sol Incl. #36°  Incl. #36°									
700	Cénomanién Gault (Albien sup)	700	727																		
800	Albo-Aptien	840	898																		
900	Barremien	890	960																		
1000	Neocomien	995	1090	17" 1/2	17" 1/2	1655	1660	WOB < 6 t RPM < 60 tpm Q = 2500 - 2700 l/mn	Boue salée aux biopolymères + additifs (anti-mousse, dispersants, réducteur de filtrat, lubrifiant)	Cimentation classique (sabot et anneau) Laitier de tête allégé d=1,30 Laitier de queue Classe G (Pozzmix) d=1,60 Additifs (fluidifiants, retardateurs...)	Phase 12" 1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)									
1100	Purbeckien	995	1090																		
1200	Portlandien	1135	1263																		
1300	Kimmeridgien	1270	1430																		
1400	Sequanien	1400	1590	1665	1918	1655	1660	WOB < 6 t RPM < 60 tpm Q = 2500 - 2700 l/mn	Boue salée aux biopolymères + additifs (anti-mousse, dispersants, réducteur de filtrat, lubrifiant)	Cimentation classique (sabot et anneau) Laitier de tête allégé d=1,30 Laitier de queue Classe G (Pozzmix) d=1,60 Additifs (fluidifiants, retardateurs...)	Phase 12" 1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)									
1500	Rauracien	1485	1695																		
1600	Argovien	1570	1800																		
1700	Oxfordien	1620	1867																		
1800	Callovien	1660	1912	1775	2048	1775	1918	WOB < 6 t RPM < 60 tpm Q = 2500 - 2700 l/mn	Boue salée aux biopolymères + additifs (anti-mousse, dispersants, réducteur de filtrat, lubrifiant)	Cimentation classique (sabot et anneau) Laitier de tête allégé d=1,30 Laitier de queue Classe G (Pozzmix) d=1,60 Additifs (fluidifiants, retardateurs...)	Phase 12" 1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)									
1900	Bathonien	1770	2048																		
2000	JURASSIQUE MOY. (DOGGERY)																				

(\*) GR : Gamma Ray  
 BGL : Borehole Geometry Log  
 IND : Induction Log  
 CALXY : OH (4 arm) Caliper  
 CBL/VDL : Cement Bond Log/Variable Density Log  
 CIT : Casing Inspection Tool  
 URS : Ultrasonic Radial Scanner  
 LDL : Litho Density Log  
 CNL : Compensated Neutron Log  
 BHC : Borehole Compensated Sonic  
 FS : Fluid Sampler  
 PLT : Production Logging Tools (incl. Flowmeter)  
 VSP : Vertical Seismic Profile



**Tableau 19 : Programme de Forage/Complétion. Option Complétion Matériaux Composites 2 (OMC-2). Trajectoire 2 (OMC2)**

COORDONNEES	TÊTES DE Puits	CIBLE PROJETEE	CIBLE ATTEINTE
X } Lambert NE Y } Z (m NGF)			

TVD	GEOLOGIE	PROFONDEURS (m/sol)		DIAMETRES DE FORAGE (")		TUBAGES/COMPLÉTION PROFIL Puits		PARAMETRES DE FORAGE	FLUIDES DE FORAGE	CIMENTATIONS	DIAGRAPHIES DIFFÉREES (*)	FORAGE DIRIGE	
		TVD	MD	TVD	MD	TVD	PROFIL						MD
100	Tertiaire	115	115	55	55	50	20" (CP)	WOB = 2 - 10 t RPM = 60 - 90 t/mn Q = 2000 - 3000 l/mn	Boue bentonitique simplifiée adoucie Bouchons visqueux BV = d=1,12/1,30 VM = 44/68 pH = 9	Innerstring (stinger et anneau) Pozzmix d=1,60 Ciment au jour	Phase 26"	KOP @ 350 m/sol GBU 1'10 m	
200	Sénonien	115	115	26	55	290	11" n3/4 (TBG)	WOB = 8 - 10 t RPM = 80 Q = 2500 l/mn	Boue bentonitique améliorée + additifs (réducteur de filtrat, lubrifiant, adoucisseur) 1,05/1,10; 48/60; 10	Cimentation classique (sabot et anneau) Laitier de tête allégé d=1,30 Laitier de queue Classe G (Pozzmix) d=1,60 Additifs (fluidifiants, retardateurs...)	GR BGL		Incl. #36°
300				430	430	13" n3/8 (CSG)	295	300	290		17" 1/2	À partir de 450 m paramètres à définir par opérateur déviation	
400	Turonien	570	581	430	430	17" 1/2	17" 1/2	WOB < 6 t RPM < 60 tpm Q = 2500 - 2700 l/mn	Boue salée aux biopolymères + additifs (anti-mousse, dispersants, réducteur de filtrat, lubrifiant)	12" 1/4	GR, CALXY, LDL, CNL/PNN, BHC Sonic (option), FS, PLT (p, T, Flowmeter, build-up)	Incl. #36°	
500		640	666										
600	Cénomanien Gault (Albien sup)	700	764	17" 1/2	17" 1/2	1665	1923	1655	1666	9" 5/8 (CSG)	7" (TBG)	1922	1927
700		735	784										
800	Albo-Aptien	840	913	17" 1/2	17" 1/2	1665	1923	1655	1666	9" 5/8 (CSG)	7" (TBG)	1922	1927
900		890	975										
1000	Neocomien	995	1105	17" 1/2	17" 1/2	1665	1923	1655	1666	9" 5/8 (CSG)	7" (TBG)	1922	1927
1100		1020	1136										
1200	Portlandien	1135	1278	17" 1/2	17" 1/2	1665	1923	1655	1666	9" 5/8 (CSG)	7" (TBG)	1922	1927
1300		1270	1445										
1400	Kimmeridgien	1400	1606	17" 1/2	17" 1/2	1665	1923	1655	1666	9" 5/8 (CSG)	7" (TBG)	1922	1927
1500		1485	1711										
1600	Sequanien	1570	1816	17" 1/2	17" 1/2	1665	1923	1655	1666	9" 5/8 (CSG)	7" (TBG)	1922	1927
1700		1620	1878										
1800	Rauracien	1620	1878	17" 1/2	17" 1/2	1665	1923	1655	1666	9" 5/8 (CSG)	7" (TBG)	1922	1927
1900		1660	1927										
1900	Argovien	1770	2063	17" 1/2	17" 1/2	1665	1923	1655	1666	9" 5/8 (CSG)	7" (TBG)	1922	1927
2000		1770	2063										

(\*) GR : Gamma Ray  
BGL : Borehole Geometry Log  
IND : Induction Log  
CALXY : OH (4 arm) Caliper

CBL/VDL : Cement Bond Log/Variable Density Log  
CIT : Casing Inspection Tool  
URS : Ultrasonic Radial Scanner  
LDL : Litho Density Log  
CNL : Compensated Neutron Log

BHC : Borehole Compensated Sonic  
FS : Fluid Sampler  
PLT : Production Logging Tools (incl. Flowmeter)  
VSP : Vertical Seismic Profile



En outre, le maître d'œuvre transmettra à la DRIEE, pendant les travaux de forage, un compte rendu détaillé du déroulement de l'opération à l'issue de chaque opération de cimentation des cuvelages (20" et 13<sup>3/8</sup>) et avant le démarrage de la phase de forage suivante. Ce compte rendu comprendra à minima les éléments suivants :

- le nom du projet,
- date / heure,
- références de l'ouvrage,
- maître d'ouvrage / maître d'œuvre,
- rig / entrepreneur,
- opérateur de cimentation,
- opération de cimentation concernée (cote fin de phase, cote sabot tubage),
- volume théorique mis en œuvre (calcul),
- composition de la colonne de cimentation (densités, cotes) schéma à l'appui le cas échéant,
- descriptif sommaire des données techniques de l'opération (volumes, densités, débits, matériel mis en œuvre (DV),...),
- contrôle visuel du retour de ciment au jour,
- remarques.

**Ce compte rendu a pour vocation d'attester du "bon déroulement des travaux". Il ne se substitue pas aux contrôles de cimentation réalisés en différé à l'aide des outils dédiés (CBL, VDL, USIT).**

#### 3.1.4.1. Programme de diagraphies et test BOP

Phase	Outil de diagraphies
En fin de forage 26"	Log OH : CAL-GR
Après cimentation du cuvelage 20"	Log CH : USI/URS-CBL/VDL-CCL-GR
En fin de forage 17 <sup>1/2</sup>	Log OH : CAL-GR
Après cimentation du cuvelage 13 <sup>3/8</sup>	Log CH : USI/URS-CBL/VDL-CCL-GR
En cours et fin de forage 12 <sup>1/4</sup>	LWD : GR, MFR Log OH : GR-LDL-BHC-CALXY-CNL-URS
Après acidification	Log OH : FS, PLT, HRT

Tableau 20 : programme de diagraphies

Phase 17 <sup>1/2</sup>			
BOP annulaire et à mâchoires		Durée	Fréquence
Tests en pression	10 bar	10 mn	Changement de phase, démontage et remontage du BOP, au moins 1 fois/21 jours
	30 bar	20 mn	
Test de fonctionnement			1 fois/ semaine

Phase 12''1/4			
BOP annulaire et à mâchoires		Durée	Fréquence
Tests en pression	10 bar	10 mn	Changement de phase, démontage et remontage du BOP, au moins 1 fois/21 jours
	30 bar	20 mn	
Test de fonctionnement			1 fois/ semaine

**Tableau 21 : Programme de test de BOP**

<b>OH</b>	Openhole (découvert)	<b>FS</b>	Fluid sampler (bottomhole)
<b>CH</b>	Cased hole (trou tubé)	<b>GR</b>	Gamma Ray
<b>LWD</b>	Logging while drilling	<b>HRT</b>	High resolution thermometer
<b>PLT</b>	Production logging tool	<b>LDL</b>	Lithodensity log
<b>BHC</b>	Borehole compensated (sonic)	<b>MFR</b>	Multifrequency resistivity
<b>CAL</b>	Caliper	<b>MSC</b>	Multisensor casing caliper
<b>CBL</b>	Cement bond log	<b>QPG</b>	Quartz pressure gauge
<b>CCL</b>	Casing collar locator	<b>SAGR</b>	Spectral azimuthal gamma ray
<b>CNL</b>	Compensated neutron log	<b>URS</b>	Ultrasonic radial scanner
<b>FMI</b>	Formation micro imager	<b>VDL</b>	Variable density log

**Tableau 22 : abréviations relatives au tableau précédent**

#### 3.1.4.2. Programme des essais de production

A la fin de l'opération de forage, il sera procédé à la réalisation des essais de production préliminaires comprenant les séquences suivantes :

- (i) la mise en eau du puits ;
- (ii) le dégorgement en production artésienne et si nécessaire à l'air lift ;
- (iii) la stimulation du réservoir par injection d'acide chlorhydrique (plusieurs acidifications peuvent être nécessaires) ;
- (iv) les essais d'évaluation de la productivité des différents niveaux.

Les essais de productivité comprendront :

- (v) une phase de fermeture du puits après stimulation pour assurer la recompression de l'aquifère ;
- (vi) une phase de production à débit constant d'une durée de 12 heures environ pendant laquelle seront enregistrées les diagraphies de production (flowmétrie, température) et effectués les prélèvements de fluide géothermal ;
- (vii) une phase de remontée de pression d'une durée de 12 heures environ pendant laquelle on enregistrera la remontée de pression du réservoir au moyen d'une sonde de pression positionnée au sabot du tubage 13<sup>3/8</sup>.

### 3.1.4.3. Programme d'échantillonnage des déblais

Pendant le forage, des échantillons de terrain seront prélevés tous les 3 à 5 mètres, observés à la loupe binoculaire et décrits par le géologue qui établira la coupe lithologique des terrains traversés.

### 3.1.4.4. Durée prévisionnelle des travaux

La durée d'un forage dévié (hors travaux préparatoires de génie civil) est estimée à 45 jours sur la base d'un travail effectué en 3 postes par jour (Cf. Figure 45) :

- (viii) Phase 26" : 6 jours ;
- (ix) Phase 17"1/2 : 26 jours ;
- (x) Phase 12"1/4, diagraphie et essais : 9 jours ;
- (xi) Phase colonne mixte : 4 jours

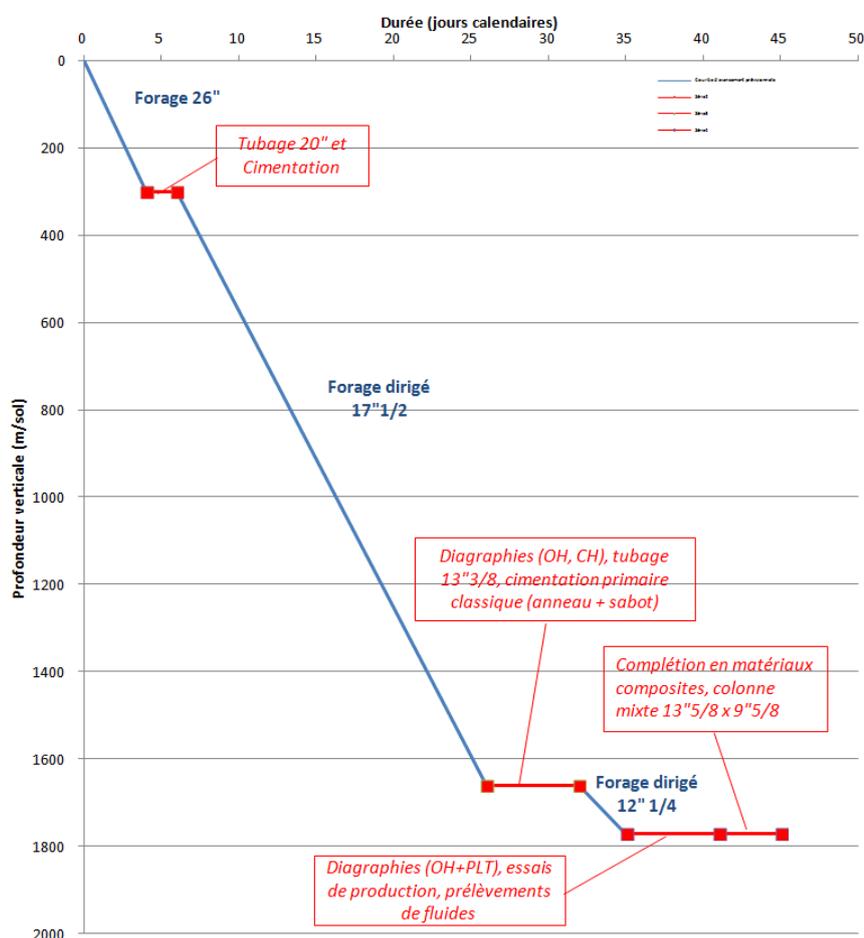


Figure 45 : courbe d'avancement prévisionnel du forage

### 3.1.5. Remise en état du site

Après évacuation par citernage ou via le réseau d'assainissement des effluents des travaux (en conformité avec la convention signée avec le concessionnaire du réseau d'eaux usées) et démontage du matériel de forage, quatre semaines sont prévues pour la remise en état du site par une entreprise spécialisée. Le cahier des charges de cette entreprise sera rédigé de manière à obtenir un état final de la plate-forme le plus proche possible de l'état initial.

Ces travaux comprennent notamment :

- (i) la démolition des deux dalles bétonnées de stockage (la plateforme de forage étant maintenue dans l'état) ;
- (ii) la remise en place des matériaux déplacés ;
- (iii) la remise en état de l'aire bitumée (enrobée) en prévision de sa réalisation partielle en parking à véhicules ;
- (iv) la finition des caves de têtes de puits (Figure 59) ;
- (v) le démontage de la clôture de chantier pour la remise en état de la clôture définitive.

### **3.2. Programme D'abandon du puits GBL-1ST**

L'abandon du puits injecteur GBL-1ST donnera lieu à la passation d'un marché entre le syndicat mixte SETBO et une entreprise spécialisée dans les travaux de workover. La supervision des travaux sera réalisée par GPC-IP

Le programme de bouchage consistera à :

- La neutralisation de l'artésianisme du puits
- L'installation de l'appareil de workover et de sa dotation
- Le nettoyage hydraulico-mécanique de la phase tubée en 7"
- Les diagraphies CIC et CBL-VDL du tubage 7"
- La mise en place d'un gel visqueux colmatant dans le découvert ou mise en place d'un Bridge Plug au sabot du tubage 7"
- La mise en place de bouchons de ciment vis-à-vis des aquifères producteurs ou cimentation totale du puits avec un coiled tubing.
- La découpe du casing head et la soudure d'une plaque de fermeture
- Le ripage sur le puits GBL2

La durée estimée du chantier est de 15 à 20 jours.

### **3.3. Etat du puits Injecteur GBL-3**

Le puits injecteur GBL-3 foré en 2012 ne nécessite aucune réhabilitation.

### **3.4. Courbe caractéristique prévisionnelle de GBL-4**

Le paramétrage de la courbe caractéristique du puits de production a été réalisé par analogie avec les données des puits actuels.

La courbe caractéristique a été établie pour une plage de débits de production variant de 0 à 300 m<sup>3</sup>/h. La courbe caractéristique prévisionnelle du puits producteur a été déterminée pour des valeurs de transmissivité proches de 75 D.m et pour un débit de production de 250 m<sup>3</sup>/h (Cf. Figure 46).

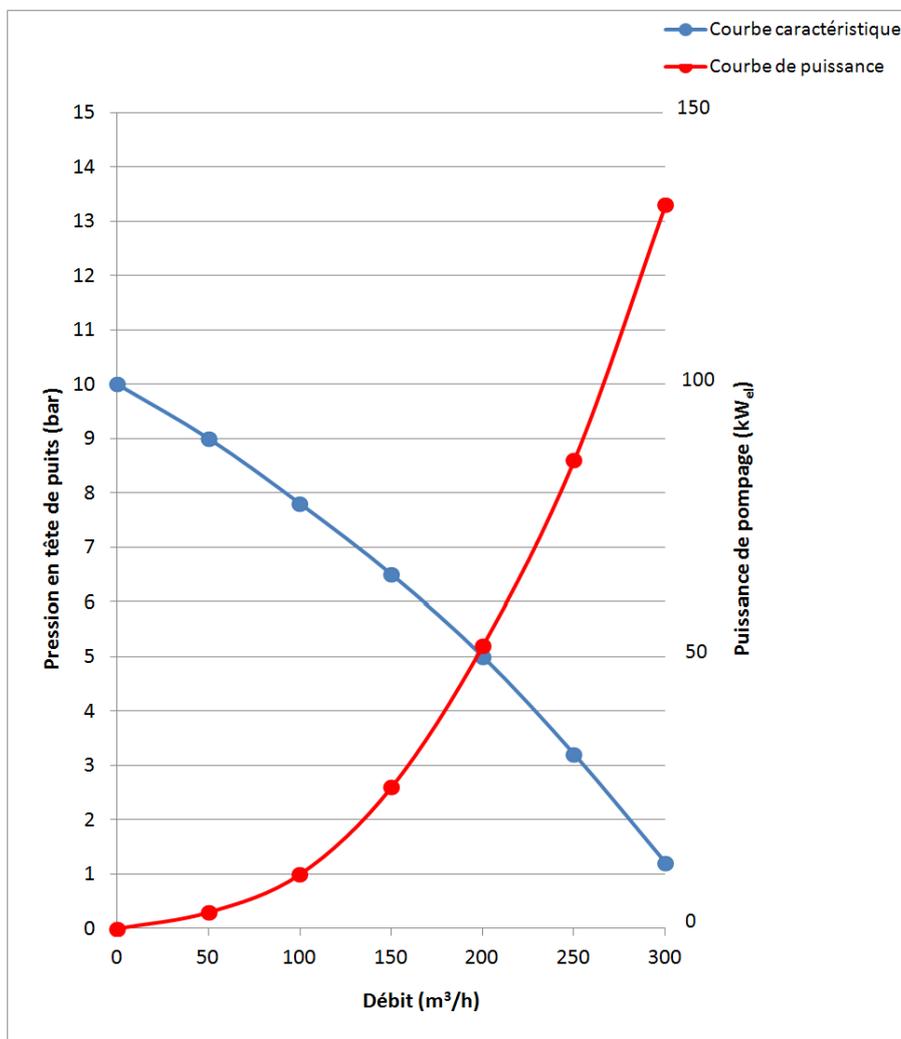
Au débit nominal de 250 m<sup>3</sup>/h la pression en tête de puits serait sous le point bulle, il est donc recommandé d'utiliser une assistance par pompe de gavage en surface.

La méthode de Colebrook a été utilisée pour le calcul des pertes de charge linéaires dans les tubages de complétion en matériaux composites. L'utilisation de matériaux composites pour la complétion permet une réduction forte des pertes de charges.

	0	50	100	150	200	250
<b>L=1525m ACT 9<sup>5/8</sup> T&amp;C ID*= 196,6mm</b>	0	0.15	0.5	1.04	1.75	2.6
<b>L=1525m ACT 7<sup>7/8</sup> T&amp;C ID*= 150,6mm</b>	0	0.53	1.8	38	6.3	9.3

ID\* : diamètre moyen intérieur du cuvelage

**Tableau 23 : perte de charges linéaires dans les tubages de complétion**



**Figure 46 : Puits de production GBL4. Courbe caractéristique pressions/débits et puissance de pompage**

### 3.5. Courbe caractéristique GBL-3

Dans la perspective du fonctionnement en doublet, les caractéristiques d'injectivité de l'ouvrage figurent sur la Figure 47. A 240 m<sup>3</sup>/h, la pression d'injection prévisionnelle sera de 40 bars environ. Pour un débit minimum de 100 m<sup>3</sup>/h et une température de réinjection proche de 50°C, la pression de réinjection devrait avoisiner les 15 bars.

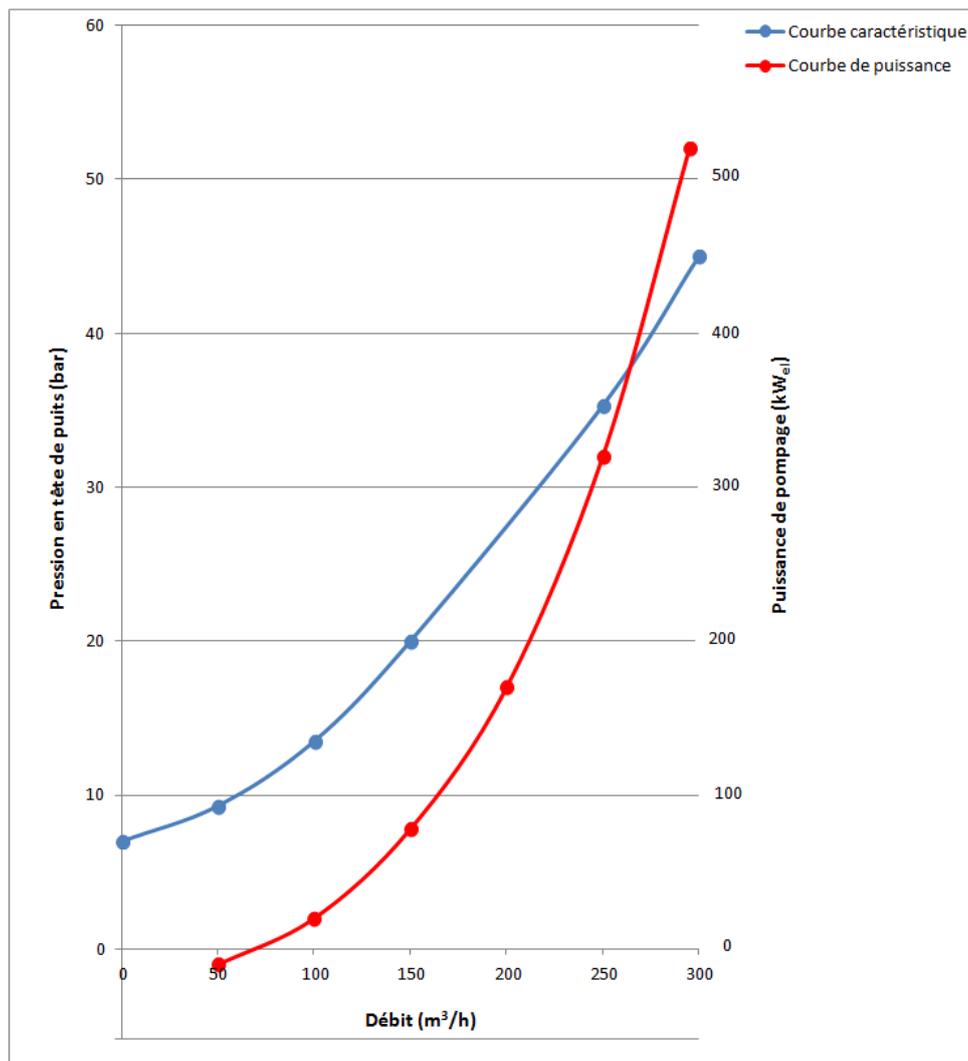


Figure 47 : Puits d'injection GBL3. Courbe caractéristique pressions/débits et puissance de pompage

### 3.6. Fonctionnement du doublet

Le principe de fonctionnement du doublet doit permettre une vitesse de circulation minimum de l'eau géothermale dans les cuvelages des puits et dans les conduites et échangeurs de surface. En effet, une trop faible vitesse de circulation de l'eau géothermale favorise les phénomènes de déposition et de corrosion à la surface des aciers et des plaques d'échangeurs.

### 3.6.1. Mode de fonctionnement été (production ECS uniquement)

Le débit de production sera assuré par le puits (GBL-4) avec une réinjection dans le puits injecteur GBL-3. Pour éviter un arrêt prolongé des puits durant la période estivale, le puits GBL-4 fonctionnera à un débit minimum de 100 m<sup>3</sup>/h, pour limiter l'encrassement des échangeurs. Compte tenu des pressions de réinjection pour des débits géothermaux variant de 100 à 250 m<sup>3</sup>/h, il sera nécessaire d'utiliser les pompes de gavage et de réinjection.

### 3.6.2. Mode de fonctionnement hiver et mi-saison (chauffage et production ECS)

En hiver le débit de fonctionnement devrait rester dans une fourchette de 175 à 250 m<sup>3</sup>/h en fonction des besoins du réseau de chaleur.

### 3.7. Paramètres de fonctionnement du doublet

Les puissances et consommations électriques de pompage résultent du fonctionnement des pompes de gavage (amont échangeur) et de réinjection en aval de l'échangeur. Le COP diminue progressivement avec l'augmentation de l'effort à la réinjection.

Le tableau ci-dessous résume les modalités de fonctionnement de l'installation (doublet) sur un an. Le régime d'exploitation varie entre 100 et 250 m<sup>3</sup>/h. Afin de ne pas dégrader les ouvrages par une exploitation artésienne à faible débit, le fonctionnement à bas régime de l'ouvrage est proscrit. Il en résulte un débit moyen d'exploitation annuel de 180 m<sup>3</sup>/h environ et un COP de 26.

Mois		janv	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	août
Heure		744	672	744	720	744	720	744	744
Débit moyen	m <sup>3</sup> /h	240	200	175	150	125	100	100	100
Conso Prod	k.W	80	50	40	30	20	10	10	10
Conso Inj	k.W	260	175	115	85	45	20	20	20

Mois	sept	oct	nov	déc	Tot/moy
Heure	720	744	720	744	<b>8760</b>
Débit moyen	125	150	175	240	<b>183,0</b>
Conso Prod	20	30	40	80	<b>420</b>
Conso Inj	45	85	115	260	<b>1245</b>

### 3.8. Descriptif des équipements constitutifs de la boucle géothermale

Le schéma détaillé de la boucle géothermale est présenté sur la Figure 48.

Les équipements nécessaires à la mise en production de la boucle géothermale sont décrits succinctement par sous-ensembles fonctionnels depuis le puits d'exhaure GBL-4 jusqu'au puits de réinjection GBL-3. L'échangeur de chaleur constitue la limite géothermal / géothermique.

Les spécifications techniques des équipements sont déterminées pour un fonctionnement au débit maximal de 240 m<sup>3</sup>/h et une température d'exhaure de 76 ± 1°C en tête de puits.

Les sous-ensembles fonctionnels sont les suivants :

- conduites de surface du puits producteur et robinetterie jusqu'aux échangeurs de chaleur et du dispositif de filtration ;
- groupe de pompage de gavage ;
- échangeurs de chaleur à plaques ;
- groupe de pompage de réinjection ;
- conduites de surface et robinetterie entre échangeurs et têtes de puits d'injection ;
- contrôle/commande/régulation des puits, des installations de surface et du fluide.

Les caractéristiques des équipements fixes de la boucle géothermale (puits, conduites de surface, échangeurs) sont déterminées pour résister aux contraintes physiques et chimiques des fluides (eau géothermale) et limiter les pertes de charge (réduites notamment par le choix d'une complétion en matériaux composites).

Les caractéristiques des éléments mobiles de la boucle géothermale (pompes de gavage et de réinjection et variateurs associés) sont déterminées pour réguler la production d'eau géothermale en fonction des besoins en chaleur. Leur dimensionnement est tel qu'il permet d'anticiper sur une possible dégradation des caractéristiques des puits par augmentation des pertes de charge.

La durée de vie des équipements d'une boucle géothermale va dépendre de plusieurs facteurs :

- (xii) la qualité des matériels à l'achat ;
- (xiii) le choix de matériaux appropriés à la corrosivité du fluide géothermal ;
- (xiv) la maintenance et conduite des équipements ;

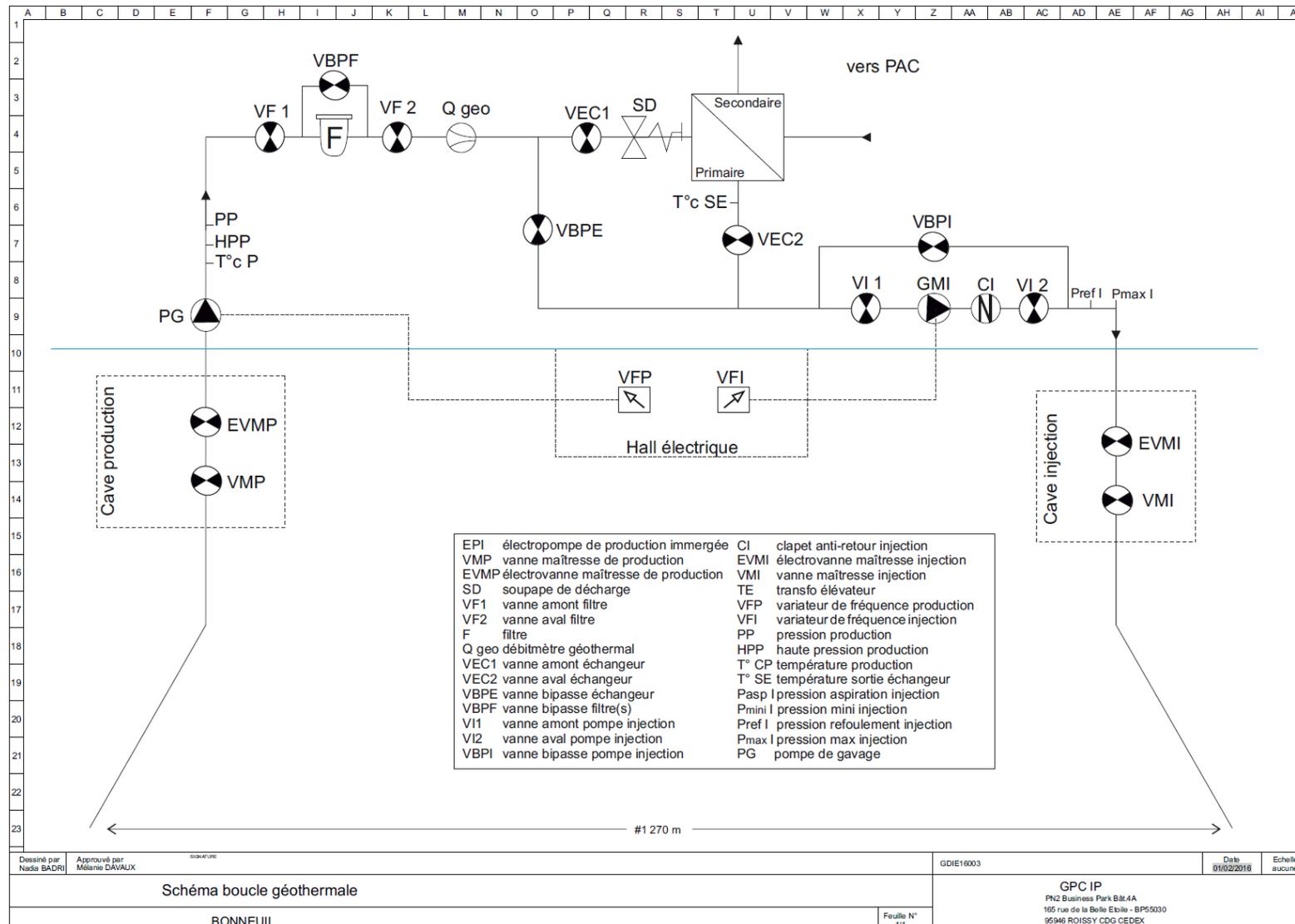


Figure 48 : Schéma de détail du doublet de Bonneuil sur Marne

### 3.9. Exposé des méthodes de forages envisagées

#### 3.9.1. Principe et méthodologie des travaux de forage

##### 3.9.1.1. Mise en place du tube guide

Compte tenu de l'instabilité des terrains de surface, il est indispensable de réaliser un « avant puits » jusqu'à une cote comprise entre 30 et 35 mètres équipés d'un tube guide en acier roulé/soudé.

##### 3.9.1.2. Le forage « rotary »

Le forage rotary utilise un trépan (ou outil) à dents ou monobloc sur lequel on applique une force procurée par un poids, tout en l'entraînant en rotation. Forage *rotary* pour le forage « droit » (vertical et *slant*), et alternance de *rotary* et *sliding* lors du forage dirigé, ces modes opératoires sont appliqués avec le matériel indiqué au paragraphe 3.9.2.2.

Le poids appliqué sur l'outil est fourni par les masses-tiges vissées au dessus de l'outil et prolongées jusqu'en surface par les tiges de forage, simples tubes vissés entre eux et qui assurent la transmission du mouvement de rotation et la canalisation du fluide de forage.

Le mouvement de rotation est obtenu soit par une table de rotation qui entraîne une tige d'entraînement solidaire des tiges de forage, soit par une tête d'injection montée sur une glissière dans le mât (*Top drive system*). Le mât est la superstructure métallique montée à l'aplomb du puits qui permet la manutention des tiges et soutient leur poids.

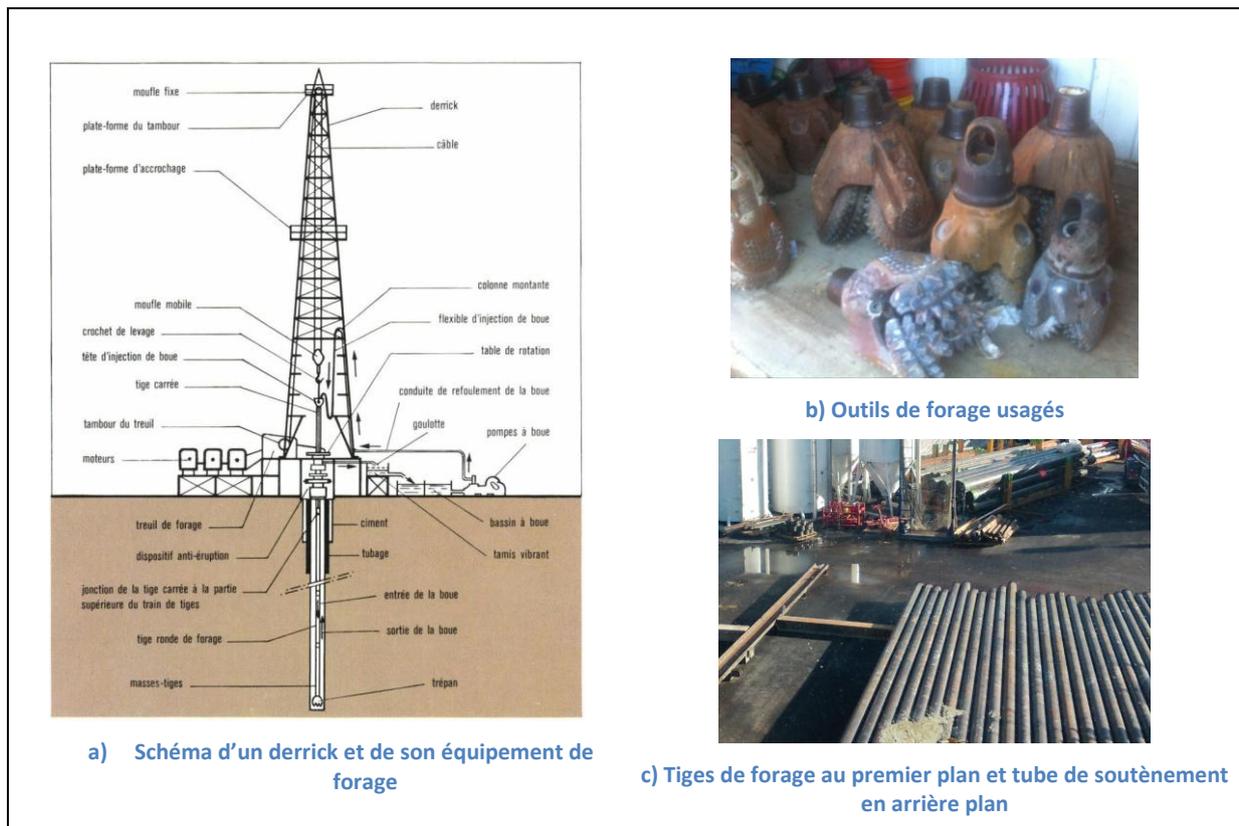


Figure 49 : éléments constitutifs du forage

Le fluide de forage, constitué d'un mélange d'eau et de bentonite (argile naturelle) est utilisé en circuit fermé et injecté par une pompe à haute pression. Il assure la remontée des déblais produits, contribue au soutien des parois du puits, maintient en place par pression hydrostatique les fluides présents dans les terrains perméables et lubrifie les outils.

Le puits est foré par intervalles ou phases de diamètres décroissants et concentriques. A la fin de chaque phase, un tubage en acier est mis en place dans le puits puis cimenté à l'extrados jusqu'à la surface. En général, deux ou trois phases de forage sont nécessaires pour atteindre l'objectif fixé.

### **3.9.2. Matériel mis en œuvre pour les travaux de forage**

#### **3.9.2.1. Forage de l'avant trou**

Le matériel qui sera utilisé pour réaliser « l'avant trou » pour le forage GBL-4 sur le site de la centrale géothermique n'est pas encore déterminé.

#### **3.9.2.2. Matériel de forage rotary**

La réalisation du programme de travaux, tel qu'il est défini au paragraphe 3.1.4.4, nécessite l'utilisation d'une machine de forage d'une capacité minimale au crochet de 300 tonnes, dont l'emprise au sol est quelque peu supérieure à celle de la machine utilisée lors du forage de GBL-3.

- *Top drive system* (TDS) à privilégier, par rapport à une table de rotation;
- Garniture de forage (BHA), composée de :
  - Tricône (PDC pour phase 12<sup>3/4</sup>) ;
  - Stabilos ;
  - Masse tiges (DC) ;
  - Tiges lourdes (HWDP) ;
  - Coulisse de forage (Jar) ;
  - Tiges de forage (DP) ;
- Pour les phases déviés, il sera également utilisé (entre outil tricône et DC) :
  - Moteur coudé ;
  - MWD (tool carrier + emitting sub) ;
  - NMDC

#### **3.9.2.3. Installation électrique**

Pour permettre le travail nocturne (ou en cas de faible luminosité) dans des conditions de sécurité maximales, une installation électrique d'éclairage est en place sur la zone de travail, les aires de stockage ainsi que l'accès immédiat au chantier.

### **3.9.3. Organisation générale du chantier**

#### **3.9.3.1. Horaires de travail**

Pour des raisons de sécurité et de stabilité de l'ouvrage, les opérations de forages doivent faire l'objet d'un minimum d'interruptions. Aussi, il est envisagé un fonctionnement du chantier en 3 postes de 8 heures par jour, 7 jours sur 7. Ce rythme de travail concerne les phases opérationnelles de forage et de test. Les autres opérations s'effectueront selon un régime horaire classique de huit heures par jour, cinq jours sur sept sauf situation exceptionnelle de courte durée qui sera gérée, le cas échéant, dans le cadre des lois et règlements définis par le code du travail (par exemple lors d'une opération de diagraphie, intervention urgente ou cas d'alarme pendant le week-end...).

#### **3.9.3.2. Effectifs d'intervention**

Toutes entreprises confondues, l'effectif est en général inférieur à 15 personnes présentes simultanément sur le site (Cf Tableau 24).

Tableau 24 : Organisation générale du chantier

	Maitre d'ouvrage								
	Maitrise d'œuvre								
	1 x Superviseur jour 1 x Superviseur nuit								
	Mud-logging	Déviations	Fluide de forage	Service Traitement	Entreprise de forage	Diagraphies	Cimentation	Service vissage	Acidification
<b>Encadrement</b>	1 x géologue	1 x chef d'équipe	1 x mud engineer jour	1 x opérateur centrifugeuses jour	1 x rig manager	1 x ingénieur logging	1 x chef d'équipe	1 x chef d'équipe jour 1 x chef d'équipe nuit	1 x chef d'équipe
<b>Non cadres</b>	3 x mud-loggers	3 x opérateurs	1 x mud engineer nuit	1 x opérateur centrifugeuses nuit	3 x chef de poste 3 x seconds 3 x accrocheurs 6 x opérateurs 1 x surfacier 1 x mécanicien 1 x électricien	3 x opérateurs	3 x opérateurs	1 x opérateur jour 1 x opérateur nuit	3 x opérateurs

## 4. ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

### 4.1. Justification et contexte du projet

#### 4.1.1. Justification du projet

La ville de Bonneuil-sur-Marne utilise la géothermie depuis 1985. Initialement, les puits qui composaient ce doublet étaient GBL-1 et GBL-2. Depuis 2014, un nouveau doublet géothermique (GBL-1ST/GBL-3), situé rue Gabriel Péri sur la commune de Bonneuil-sur-Marne assure, avec le réseau de distribution de 5,5 km qui alimentent 42 sous-stations, une partie des besoins de chaleur de 4300 équivalents logements. La mixité de la production énergétique actuelle est 75,61 % géothermie (1 doublet) et 25 % gaz (2 chaudières de 2907 kW et 2 chaudières de 4652 kW).

L'arrêté n°2014/6325 du 24 juillet 2014 autorise le syndicat mixte pour la production et la distribution de chaleur à Bonneuil-sur-Marne (SETBO) à poursuivre l'exploitation du gîte géothermique à basse température du Dogger jusqu'au 15 janvier 2028 (Cf. Annexe 1).

Cependant, l'usure prématurée de l'ouvrage producteur GBL1-ST foré en 1985 et repris en *sidetrack* en 2009, ne permet plus de garantir l'étanchéité du puits (cf. Annexe 2 : CR de réunion du 24 Septembre 2014 à la DRIEE). Il est donc nécessaire d'abandonner ce puits et de réaliser un nouveau puits de production GBL4 pour assurer la continuité de service.

Les objectifs du SETBO sont :

- d'optimiser la ressource géothermale ;
- de pérenniser et fiabiliser les installations ;
- de créer un nouveau puits de production (GBL4) propre à assurer ses besoins existant et futur avec un taux de couverture minimum de 75% ;
- de s'assurer de l'isolement des couches aquifères
- de garantir les conditions de confort de ses abonnés et des tarifs compétitifs ;
- de maîtriser ses dépenses de fonctionnement.

DALKIA gère les ouvrages de production et de distribution de l'énergie sous un contrat de type « prestations forfaitaires » en régie pour une durée de trois ans. Les analyses physico-chimiques et le suivi du traitement en fonds de puits sont réalisés par la société BWT Permo sous un contrat annuel.

Afin de sécuriser, pérenniser et développer les moyens de production de chaleur géothermique, le SETBO a décidé de confier à GPC-IP une mission de maîtrise d'œuvre pour l'abandon du puits GBL1-ST et la conception et la réalisation d'un nouveau puits de production GBL-4 innovant et anticorrosion qui permettra une augmentation significative de la production géothermale qui passera de 120 m<sup>3</sup>/h à 240 m<sup>3</sup>/h. L'intégralité du débit d'exhaure sera réinjecté dans le puits GBL-3 foré en 2012. Cette augmentation du débit géothermal est nécessaire pour alimenter les bâtiments qui seront raccordés à l'actuel réseau de chaleur (ANRU 2016).

#### 4.1.2. Contexte géographique et administratif de Bonneuil-sur-Marne



Située en bordure de la Marne, à 17 km au Sud-Est de Paris, Bonneuil-sur-Marne est une ville jeune, sportive, dotée d'un tissu économique dense et varié. Le port de Bonneuil est le deuxième port de la région parisienne par son volume d'activités. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2016 la ville de Bonneuil-sur-Marne appartient au territoire T11 qui compte 15 communes dont la ville de Créteil (Cf. Figure 50).

Les données INSEE (2012) font état d'une population de près de 17 000 habitants pour une surface de 5,5 km<sup>2</sup>. La commune est couverte par 18 ha d'espaces verts, 67 ha de zone pavillonnaire et 50 ha de logements collectifs. Près de 80% des logements correspondent à des appartements.

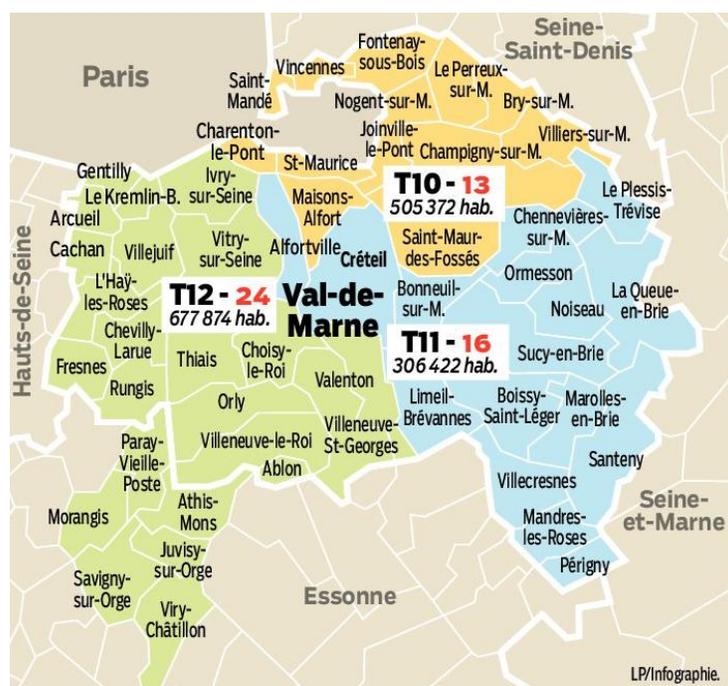


Figure 50 : Situation géographique de Bonneuil-sur-Marne dans le Val-de-Marne

#### 4.1.3. Contexte historique de Bonneuil-sur-Marne

Les traces de l'histoire de Bonneuil-sur-Marne remontent aux premiers siècles de notre ère. A l'origine existait probablement une villa gallo-romaine du nom de *Bonoilum*, *Bonogilum* ou *Bonogelum*, incluse dans le « fisc » impérial romain, sur la route de Paris à Sens. Une « villa royale » s'y trouve toujours au septième siècle, où les rois Clotaire II puis Dagobert séjournent régulièrement et où se prennent des décisions importantes. Un miracle s'y produit, dit-on, au passage du cortège funéraire de Saint-Louis, dans l'hiver 1270-71. L'église, vouée à Saint-Martin au XIII<sup>ème</sup> siècle, est sans doute encore plus ancienne.



A la fin du Moyen âge et durant la Renaissance, le territoire est réparti en deux seigneuries : le château de Bonneuil, aujourd'hui détruit, et le fief vassal du Rancy dont les bâtiments existent toujours. La Révolution abolit leurs avantages, instaure une commune en 1790 et nous laisse un cahier de doléances bonneuillois remarquable.



Le XIXème siècle est celui des occupations prussiennes liées aux défaites du premier et du second empire, en 1814-1815, tout d'abord, puis en 1870. En dehors de ces périodes troublées, Bonneuil-sur-Marne demeure le « charmant village » fort apprécié des parisiens, qui fréquenteront les bords de Marne au Moulin-Bateau jusqu'au XXème siècle.

Différents détachements sont cantonnés dans la ville durant la Grande guerre de 1914-18, comme en témoignent les nombreuses cartes postales que ces soldats envoient à leurs familles.

Bonneuil grandit et s'urbanise : 119 habitants en 1726, 2489 en 1936 et plus de 16 300 en 1999. Avec l'arrivée du train et du tramway, son histoire devient au XXème siècle une histoire industrielle et ouvrière : celle de son grand port, le deuxième d'Ile de France, construit à partir de 1916 dans les plaines inondables de l'île Barbière. Celle des usines qui s'y massent dans les années 30, comme la fabrique Lancia qui produira jusqu'à 5 voitures par jour. Celle des luttes sociales, également, et du Front populaire qui voit le maire Périer, patron d'une importante fabrique, remplacé par un syndicaliste de sa propre entreprise : c'est Henri Arlès, qui rejoindra les maquis durant l'occupation et qui restera maire jusqu'en 1971.

Dans l'après guerre se poseront de nouveaux problèmes, dont le mal logement lié à l'accroissement rapide d'une population ouvrière, qui aboutira à la construction d'un vaste parc de logements sociaux.

<sup>1</sup> Sources : sites internet <http://www.ville-bonneuil.fr> C.Seguin

#### 4.1.4. Contexte socio-économique de Bonneuil-sur-Marne<sup>1</sup>

Située en bordure de la Marne, Bonneuil-sur-Marne est une ville jeune et multiculturelle : 30% des habitants y ont moins de 20 ans.

Bonneuil-sur-Marne est dotée d'un tissu dense et varié et de plusieurs grandes zones d'activités. Bonneuil-sur-Marne compte sur son territoire plus de 800 entreprises, 294 ha de zones d'activités, 9 500 emplois et 50% de sa population est active.

Le Port de Bonneuil-sur-Marne est le deuxième port de la région parisienne par son volume d'activité ; sa plate-forme multimodale offre aux entreprises le transport des marchandises par voie fluviale, maritime, par le réseau ferré ou par la route.

Pour ce qui concerne l'éducation, Bonneuil-sur-Marne compte 4 structures d'accueil de la petite enfance dont une crèche départementale, 7 écoles maternelles, 6 écoles primaires dont une privée et 1 collège.

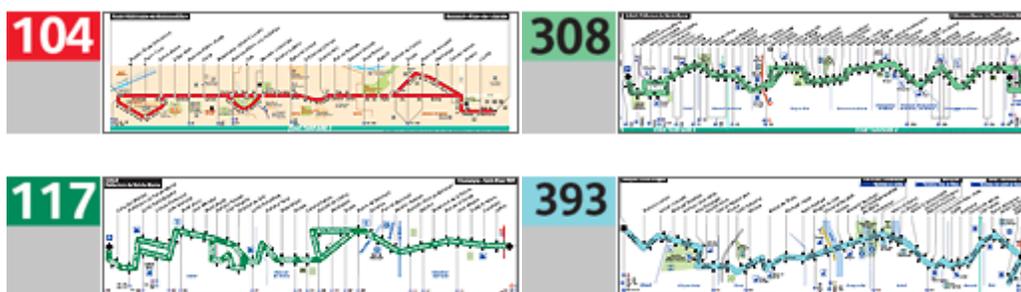
Bonneuil-sur-Marne est une ville sportive, connue pour ses événements, en particulier pour les « Foulées de Bonneuil » qui réunissent les meilleurs athlètes du département. Elle dispose d'équipements importants fréquentés chaque année par près de 600 000 personnes et d'un milieu sportif dynamique. Le service des sports compte environ 3 000 participants par an à ses différentes activités.

Les équipements culturels (Médiathèque, Salle Gérard Philippe, Conservatoire... ) offrent à tous les habitants, quels que soient leurs moyens, un accès à des pratiques, à des œuvres et à une programmation de qualité.

Enfin, la vie associative et les dispositifs de développement local de la ville variés rythment et animent le quotidien des Bonneuillois

##### 4.1.4.1. Les axes de communication et de transport

Les lignes de bus 104, 117, 308 et 393 de la R.A.T.P. desservent Bonneuil-sur-Marne.



Bonneuil-sur-Marne est desservie par la ligne de RER A avec la Gare de Sucy-Bonneuil et la ligne 8 de métro de Créteil Préfecture.

Via son raccordement à l'A86, le territoire est directement relié au réseau autoroutier francilien (Cf. Figure 51) :

- autoroute du Nord (A1), Paris – Lille,
- autoroute de l'Est (A4), Paris – Strasbourg,
- autoroute du Soleil (A6), Paris – Lyon.

<sup>1</sup> Sources : sites internet <http://www.ville-bonneuil.fr>

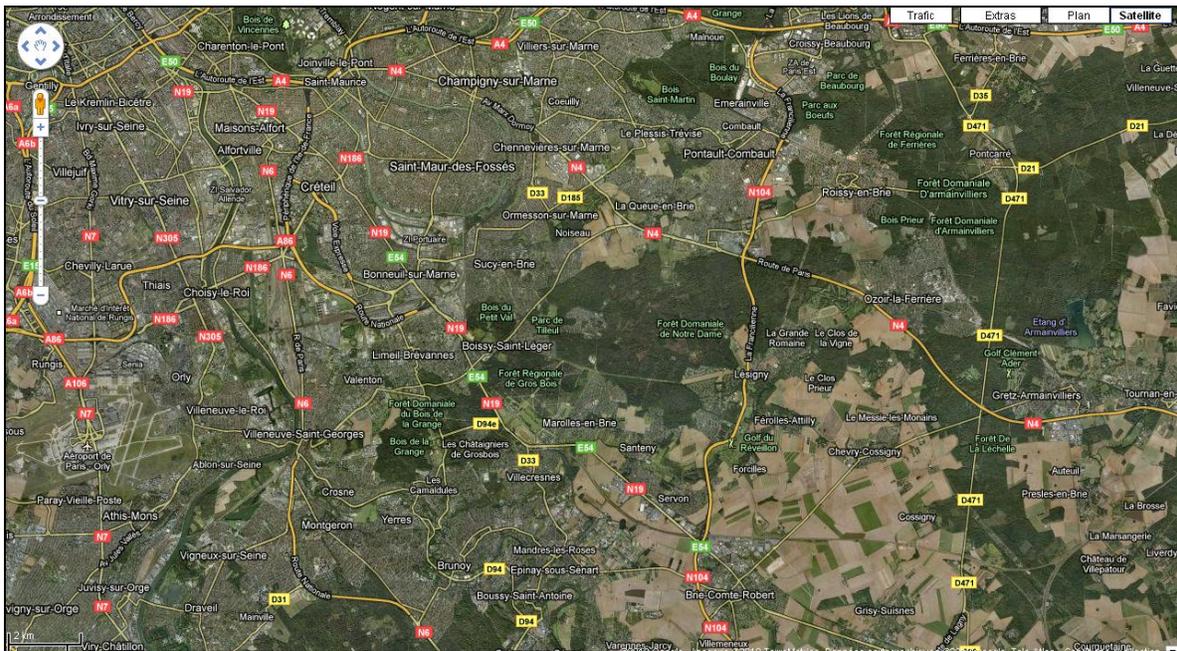


Figure 51 : Réseau routier desservant Bonneuil-sur-Marne

#### 4.1.5. Patrimoine architectural de Bonneuil-sur-Marne

L'église, dédiée à **Saint-Martin** au XIIIème siècle, est peut-être plus ancienne. Son cœur daterait de la fin du XIIIème ou du début du XIV siècle. Très endommagée durant l'occupation prussienne de 1870, elle a été restaurée à partir de 1874.



**Le château du Rancy**, rue Paul Vaillant-Couturier, a été édifié en 1610 et doit son nom à Paul Brunet de Rancy qui l'acquiert en 1685. Classé aux Monuments Historiques, il abrite aujourd'hui l'Ecole Régionale d'Enseignement Adapté (EREA). **Le parc voisin** appartient au Conseil Général du Val-de-Marne.



**La ferme du Rancy**, rue Désiré Dautier, a été utilisée comme ferme pédagogique jusqu'en 2006. Elle est actuellement réhabilitée pour devenir une salle des mariages. Le pigeonnier est situé entre le château du Rancy et la ferme.

**Le lavoir**, impasse du Morbras, a été construit en 1875 pour épargner aux habitantes un trajet à pied de 1500 mètres jusqu'à la Marne. Le lavoir précédent, proche du Morbras, était en effet inutilisable quatre à cinq mois par an. L'eau provenait du réservoir du Mont-Mesly et se déversait ensuite dans le Morbras.



#### 4.1.6. *Les espaces verts*<sup>2</sup>

13 hectares d'espaces verts, près de 3 300 arbres, 112 massifs floraux et 796 jardinières ou structures florales sont entretenus par la ville.



Le Bec du Canard, près du port de Bonneuil-sur-Marne, en bord de Marne, est un lieu boisé et protégé. Avec le port de Bonneuil-sur-Marne, il représente 11 hectares de bois.

**Le parc départemental du Rancy**, avenue de Paris, comporte 6 hectares d'espaces verts.

## 4.2. Description du site et de son environnement- Etat initial du site

### 4.2.1. *Situation et description du site*

Le site du nouveau projet est localisé à l'intérieur de l'enceinte de la centrale géothermique de Bonneuil-sur-Marne située à la limite du secteur du Val-de-Marne, secteur comportant de nombreuses exploitations géothermiques au Dogger. La centrale géothermique est constituée des puits existants GBL-1, GBL-2 et GBL-3 ainsi que de la centrale d'échange de chaleur et de production d'énergie d'appoint.

L'adresse du site est :

Centrale géothermique

1 Rue Gabriel Péri

94380 Bonneuil-sur-Marne

L'implantation du nouveau forage profond GBL-4 est située à proximité de la plate-forme des puits GBL-1, GBL-2 et GBL-3 (Cf. Figure 52).

<sup>2</sup> Source : site internet <http://www.ville-bonneuil.fr>



**Figure 52 : Plate-forme des puits actuels située dans l'enceinte de la centrale géothermique de Bonneuil-sur-Marne**

Le choix de ce site d'une superficie d'environ 3200 m<sup>2</sup> tient compte des contraintes suivantes :

- la tête du nouveau puits producteur doit se situer à proximité des puits actuels ;
- la position de cette tête de puits sera en outre compatible avec l'implantation ultérieure d'une machine de work over (capacité au crochet de 90 tonnes) en évitant d'empiéter sur les parcelles voisines ;

#### 4.2.2. Propriétés

L'occupation actuelle du sol au niveau de la parcelle accueillant les puits existants permet d'envisager la réalisation d'un nouvel ouvrage sur la plate-forme actuelle.

La ville de Bonneuil-sur-Marne est propriétaire du site et le met à la disposition du SETBO.

#### 4.2.3. Projet situé à proximité du site

Il n'y a pas de projet d'aménagement planifié à proximité immédiate du site.

#### 4.2.4. Accès et dessertes du site

Le site est accessible par les routes nationales 19 et 406, la route départementale 30 puis la rue Gabriel Péri. (Cf. Figure 53). Il est également accessible par la rue Bouglione.

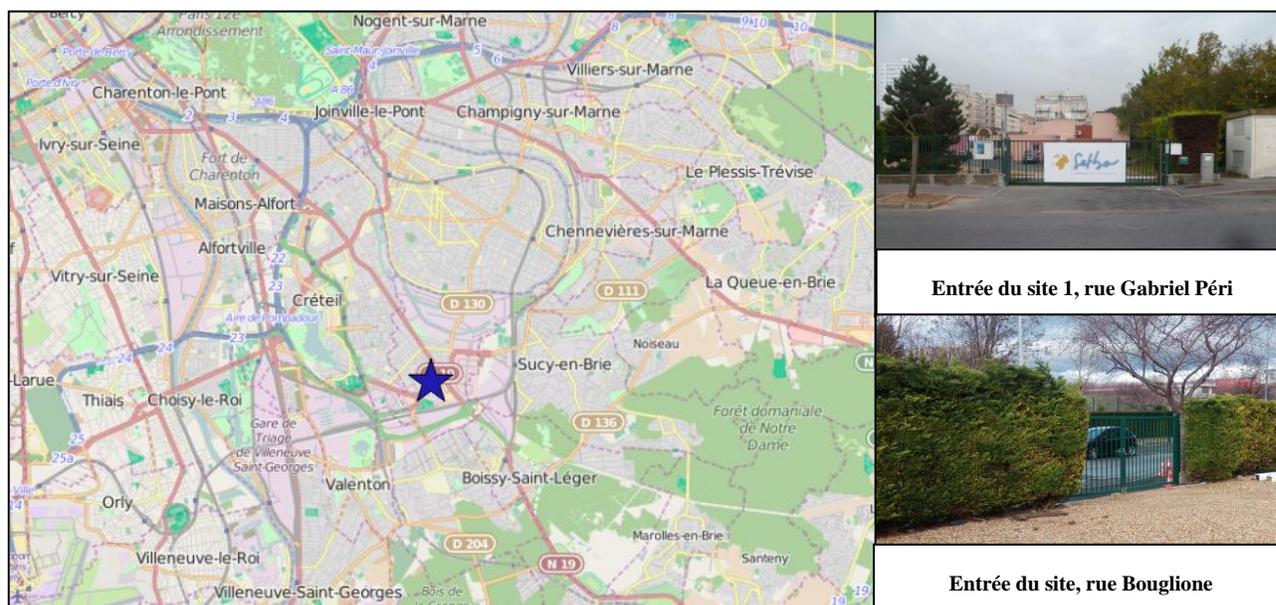


Figure 53 : Accès au site

#### 4.2.5. Equipements et habitations situés à proximité du site

La centrale géothermique se situe au cœur d'un quartier d'habitations et commercial (hôtel, restaurants, commerces : Hôtel Kyriad, McDonald's, Speedy, Norauto, Gemo...), à proximité du Collège Paul Eluard. (Cf. Figure 54).



Figure 54 : Plan du cadastre au niveau du site de forage

#### 4.2.6. *Caractère général du paysage du site de l'opération*

Le site est partiellement couvert d'une dalle béton constituant la plate-forme des puits, d'une zone goudronnée et d'une zone gravillonnée. (Cf. Figure 52) Une mare arborée et un petit espace vert sont situés à proximité de la chaufferie.

Le site accueille une faune et une flore adaptée à un environnement urbain.

Le site n'appartient pas à :

- un parc naturel régional,
- une réserve naturelle,
- une zone d'intérêt communautaire pour la protection des oiseaux (ZICO),
- une zone Natura 2000 (réseau européen de sites naturels ou semi-naturels ayant une grande valeur patrimoniale, par la faune et la flore exceptionnelle qu'ils contiennent),
- une Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF).

Le site ne fait pas l'objet d'un arrêté de protection de biotope.

#### 4.2.7. *Qualité du sol*

Le site sélectionné pour accueillir le nouveau puits producteur GBL-4 est à l'intérieur de l'enceinte de la centrale géothermique où le précédent doublet était exploité depuis 1985 et le nouveau depuis 2014. Il est couvert partiellement de béton, de goudron et de graviers. Avant la réalisation du premier doublet actuel, le site était occupé par d'anciennes terres agricoles non bâties. Le site ne présente donc pas à notre connaissance de risques de présence de terres polluées.

#### 4.2.8. *Qualité de l'air*

Les sources de pollution émettent de très nombreux polluants dits primaires. En conséquence, la pollution urbaine est due à la présence dans l'air ambiant de polluants primaires et de polluants secondaires issus de la transformation des premiers lors de conditions météorologiques favorables.

Les polluants atmosphériques sont trop nombreux pour être surveillés en totalité. Certains d'entre eux sont choisis parce qu'ils sont caractéristiques de types de pollution (industrielle ou automobile) et que de par des connaissances actuelles des effets nuisibles sur l'environnement et/ou la santé et/ou le patrimoine bâti leur sont attribués. Ces espèces sont appelées des indicateurs de pollution atmosphérique et font l'objet de réglementations.

##### 4.2.8.1. *Textes réglementaires*

Des valeurs limites, des valeurs guides et des objectifs qualité ont été définis, pour différents polluants, par l'Union Européenne ou l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) afin de mieux connaître et si possible d'améliorer la qualité de l'air respiré. Les textes réglementaires qui définissent ces seuils sont :

- le décret n°2002-213 du 15 février 2002 portant transposition des directives 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 et 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000 modifiant le décret n°98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites ;
- le décret n°2003-1085 du 12 novembre 2003 portant transposition de la directive 2002/3/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 février 2002 et modifiant le décret n°98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites ;

- l'arrêté inter-préfectoral du 12 juillet 2002 relatif à la procédure d'information et d'alerte du public en cas de pointe de pollution atmosphérique en Région Ile-de-France, modifié par l'arrêté inter-préfectoral du 12 juillet 2005 qui modifie les seuils d'alerte pour l'ozone et supprime la différenciation en trois zones de l'Ile de France ; l'arrêté inter-préfectoral du 3 décembre 2007 n°2007-21277 a ajouté les particules (PM10) dans la liste des composés concernés par cette procédure ;
- le décret n° 2007-1479 du 12 octobre 2007 relatif à la qualité de l'air et modifiant le code de l'environnement.

En cas d'absence de réglementation française ou européenne, les résultats des mesures des polluants sont comparés avec les valeurs guides d'exposition estimées par l'OMS.

#### 4.2.8.2. Effets sur la santé et réglementation relative aux composés les plus fréquemment mesurés

##### 4.2.8.2.1. Dioxyde d'azote - NO<sub>2</sub>

La toxicité du NO<sub>2</sub>, plus importante que celle du NO, est liée à ses propriétés oxydantes. Gaz irritant, il pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyperréactivité bronchique chez l'asthmatique et, chez l'enfant, augmenter la sensibilité des bronches aux infections microbiennes. Les effets sont perceptibles :

- pour des expositions de courtes durées (≈ 2 heures) à des concentrations de plus de 400 µg/m<sup>3</sup> ;
- pour des expositions de longues durées (≈ 6 heures) à des concentrations d'environ 200 µg/m<sup>3</sup>.

La quantification des effets propres du NO<sub>2</sub> lors d'études écologiques temporelles est néanmoins difficile du fait principalement de la présence dans l'air d'autres polluants avec lesquels le NO<sub>2</sub> est corrélé.

Les seuils et valeurs réglementaires sont indiqués dans le tableau suivant (Cf. Tableau 25).

**Tableau 25 : Seuils et valeurs réglementaires**

<b>Seuil d'information</b>	200 µg/m <sup>3</sup> sur une heure
<b>Seuil d'alerte</b>	400 µg/m <sup>3</sup> sur une heure ou 200 µg/m <sup>3</sup> sur une heure en cas de déclenchement de la procédure d'information la veille et le jour même et si les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain
<b>Objectif de qualité</b>	40 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle
<b>Valeur limite</b>	Centile 98 des concentrations horaires en NO <sub>2</sub> à 200 µg/m <sup>3</sup>
<b>Valeur limite</b>	Centile 99,8 des concentrations horaires en NO <sub>2</sub> à 230 µg/m <sup>3</sup> pour l'année 2007
<b>Valeur limite pour la protection de la végétation</b>	30 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle en NOx.

#### 4.2.8.2.2. Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes – BTEX

Les BTEX sont des précurseurs de formation d’ozone. Sous l’effet du rayonnement solaire de courte longueur d’onde et en présence d’azote, de l’ozone est généré suite à la dissociation du dioxyde d’azote. L’accumulation des BTEX dans l’air ambiant représente un danger pour l’homme. L’impact sur l’organisme humain diffère suivant la nature du composé et dépend :

- des voies d'exposition : cutanée, olfactive ou oculaire ;
- des organes cibles touchés : système nerveux, cardiaque, digestif, etc. ;
- de la toxicité du composé : narcotique, cancérigène, allergique, tératogène, etc.

Actuellement, seul le benzène est réglementé et les valeurs limites pour la protection de la santé et l’objectif qualité sont présentés dans le tableau suivant (Cf. Tableau 26).

**Tableau 26 : Valeurs limites pour la protection de la santé et objectif qualité relatifs au Benzène**

Valeur limite pour la protection de la santé humaine pour 2007	8 µg/m <sup>3</sup> en moyenne sur l’année civile
Valeur limite pour la protection de la santé humaine pour 2010	5 µg/m <sup>3</sup> en moyenne sur l’année civile
Objectif de qualité	2 µg/m <sup>3</sup> en moyenne sur l’année civile

Néanmoins des valeurs guides d'exposition pour certains BTEX ont été estimées par l’OMS. Le tableau ci-dessous présente, par exemple, la valeur guide pour le toluène.

**Tableau 27 : Valeur guide relative au toluène**

Composé	Valeur guide
Toluène	260 µg/m <sup>3</sup> sur 1 semaine

#### 4.2.8.2.3. Particules PM10

Les particules sont des composés très hétérogènes. Elles sont produites par les activités humaines (combustions industrielles, phénomène d’usure et de frottement des chaussées et des pneus, particules issues directement des véhicules, poussières de chantiers, acides condensés résultants de réactions chimiques entre polluants gazeux et l’humidité de l’air) et par les activités naturelles (vent de poussières, pollens, bactéries, aérosol marins, cendres volcaniques, ...). Elles peuvent être distinguées selon leurs tailles, leurs couleurs, leurs compositions chimiques et leurs poids. C’est sur ce dernier paramètre que ces composés sont généralement mesurés. Les poussières sont sélectionnées selon leurs tailles avant d’effectuer les mesures. Les particules dont la taille est inférieure à 10 µm sont les composés susceptibles de pénétrer dans l’arbre respiratoire. De ce fait, les analyseurs possèdent des têtes de prélèvements sélectionnant la taille des particules à cette valeur.

Les valeurs et les seuils réglementaires sont indiqués dans le tableau suivant (Cf. Tableau 28).

\* Les seuils d'informations et d'alerte sont applicables depuis le mois de décembre 2007.

**Tableau 28 : Valeurs et seuils réglementaires relatifs aux particules PM10**

<b>Objectif de qualité</b>	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle
<b>Valeur limite</b>	Centile 90,4 des concentrations journalières en poussières à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Seuil d'information</b>	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 24 heures écoulées (de 8h du matin la veille à 8h du matin le jour même et de 14h la veille à 14h le jour même) *
<b>Seuil d'alerte</b>	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 24 heures écoulées *

#### 4.2.8.2.4. L'ozone

Ce composé est un polluant secondaire. Il n'est pas émis directement par une source particulière, mais il est produit par une transformation photochimique via les oxydes d'azote et les Composés Organiques Volatils (COV). De fortes valeurs en ozone sont constatées en périodes estivales du fait de conditions favorables à l'apparition de ce type de polluant du point de vue de la photochimie.

Les seuils réglementaires sont présentés dans le tableau ci-dessous.

\* Ces seuils sont applicables depuis le 1<sup>er</sup> août 2005.

**Tableau 29 : Seuils réglementaires relatifs à l'ozone**

<b>Seuil d'information</b>	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une heure
<b>Seuil d'alerte</b>	Dépassement de 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire ou dépassement pendant 3 heures consécutives de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire * ou dépassement pendant 3 heures consécutives de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire *

#### 4.2.8.2.5. Dioxyde de soufre

Le dioxyde de soufre constitue un bon indicateur de sources de combustion du charbon, de la lignite, du coke de pétrole, du fuel lourd, du fuel domestique et du gazole. Les émetteurs principaux sont les centrales thermiques et les grandes installations de combustion. Le chauffage individuel ou collectif (secteur résidentiel et tertiaire) constitue le deuxième type d'émetteur. Le secteur transport est un faible émetteur (trafic diesel majoritairement). Le gaz naturel, le GPL et le bois sont des combustibles très peu soufrés.

Les seuils et les valeurs réglementaires sont présentés dans le tableau suivant.

**Tableau 30 : Seuils et valeurs limites réglementaires relatifs au dioxyde de soufre**

<b>Seuil d'information</b>	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une heure
<b>Seuil d'alerte</b>	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire dépassés pendant trois heures consécutives
<b>Objectif de qualité</b>	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle
<b>Valeur limite</b>	Centile 99,7 des concentrations horaires à 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Valeur limite</b>	Centile 99,2 des concentrations journalières à 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

### 4.2.8.3. Qualité de l'air dans le département du Val de Marne

AIRPARIF (Association Interdépartementale pour la gestion du Réseau automatique de surveillance de la Pollution Atmosphérique et d'Alerte en Région d'Île-de-France) est un organisme créé en France et agréé par le Ministère de l'Environnement. Son but est de :

- surveiller la qualité de l'air ;
- prévoir les épisodes de pollution ;
- évaluer l'impact des mesures de réduction des émissions ;
- informer les autorités et les citoyens (au quotidien, lors d'un épisode de pollution).

Il doit d'autre part développer des outils de modélisation pour permettre d'estimer objectivement l'efficacité d'une action envisagée vis à vis de la qualité de l'air.

Dans le cadre de ce suivi, AIRPARIF a publié son rapport relatif à la qualité de l'air en Ile de France en 2014. Ce rapport montre que les concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote, en ozone, en particules PM 10 et en benzène présents dans l'air dans le Val de Marne sont plus fortes à proximité des grands axes routiers (Cf. Figure 55). Le nombre de jours de dépassement de l'objectif de qualité en ozone (O3) (seuil de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 8 heures) est faible dans le Val de Marne.

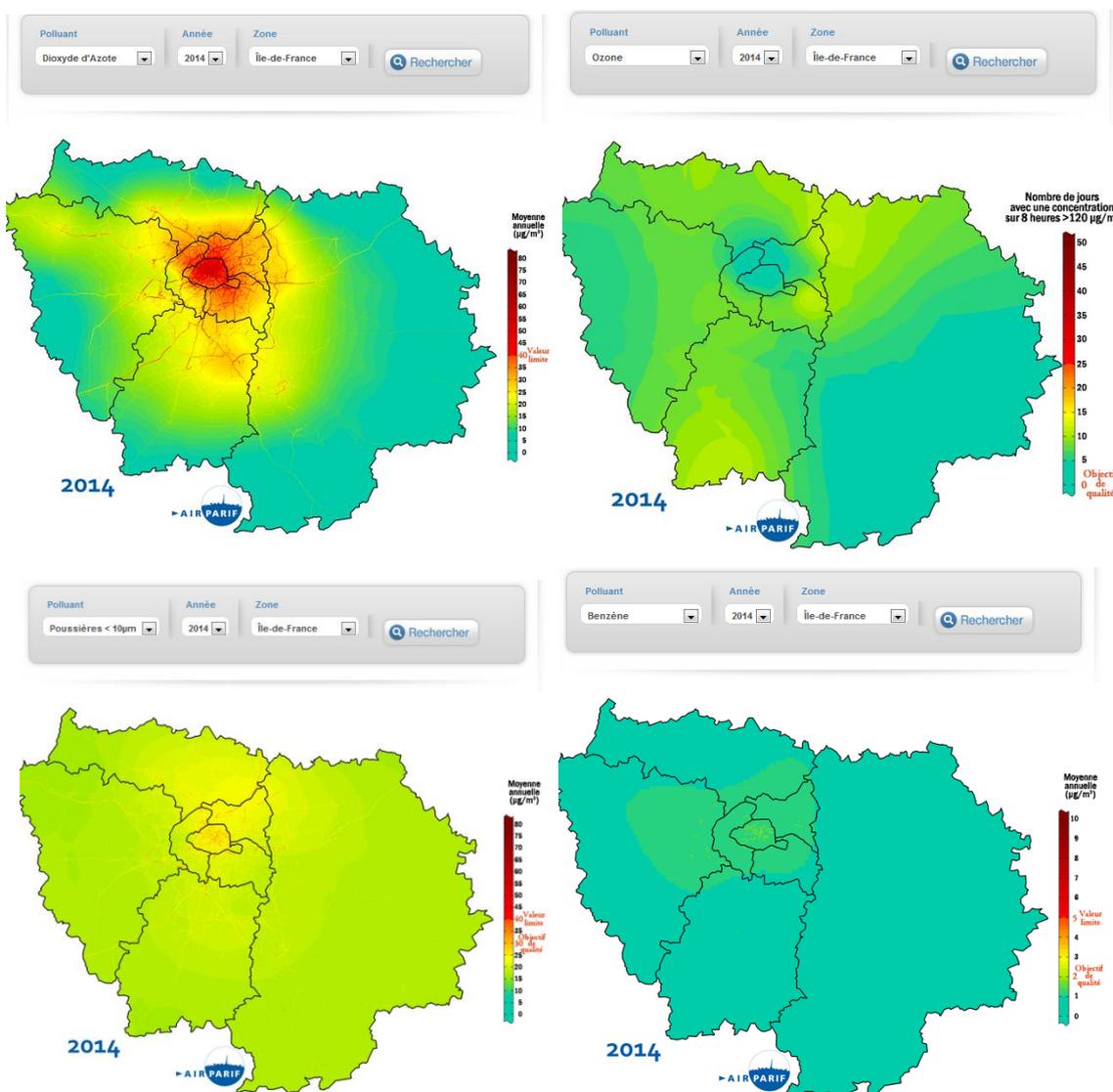
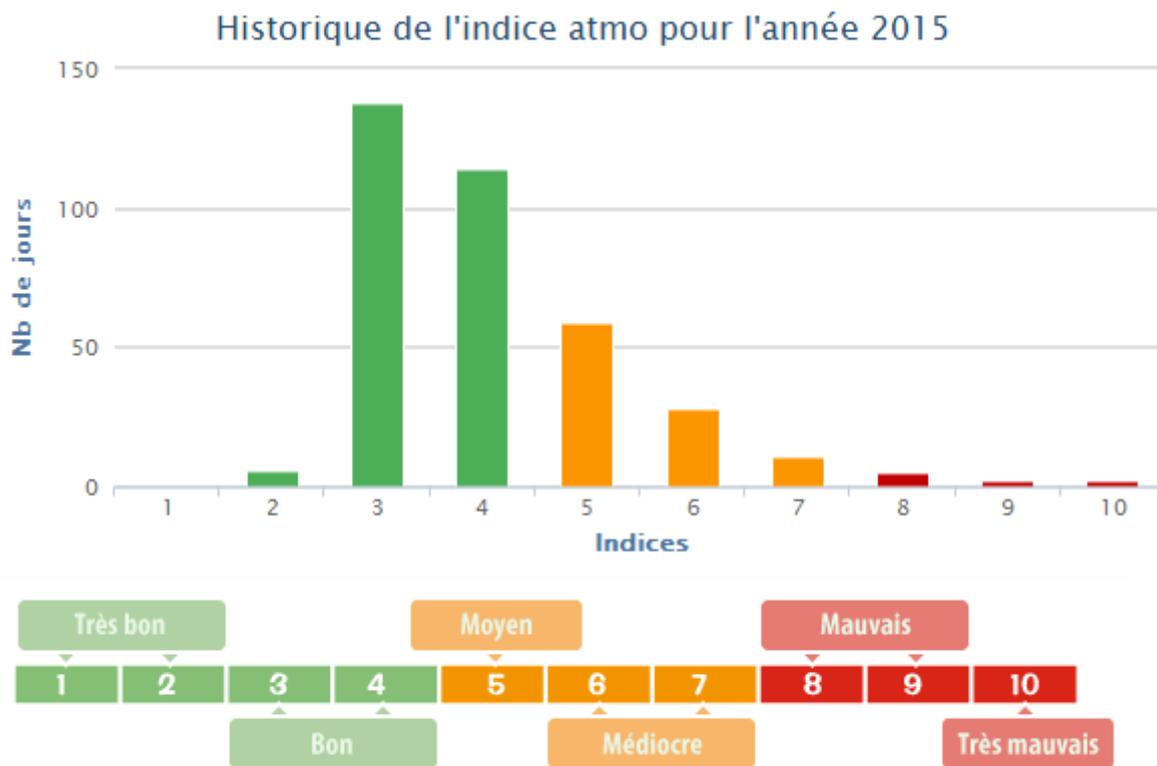


Figure 55 : Concentrations moyennes annuelles (2014) en dioxyde d'azote, en ozone, en particules PM10 et en Benzène en Ile-de-France

L'indice ATMO, correspond à l'indice journalier français de qualité de l'air ; il mesure les poussières, le dioxyde d'azote, l'ozone et le dioxyde de soufre. Son équivalent européen, appelé Citeair, informe toutes les heures sur la quantité de ces polluants dans l'air (il prend aussi en compte le monoxyde de carbone).

Dans le Val-de-Marne, en 2015, l'indice ATMO a été "Bon" 70% du temps, comme l'illustre le graphique suivant :



**Figure 56 : graphique de répartition des indices ATMO dans le Val-de-Marne pour l'année 2015**

Il est à noter que le climat de l'Ile-de-France est généralement propice à la dispersion des polluants. En effet, l'agglomération parisienne, située en plaine, bénéficie la majeure partie du temps d'un climat océanique venteux ou pluvieux favorable à la dispersion de la pollution par brassage et lessivage de l'atmosphère. Cependant, certaines situations météorologiques, anticyclones et absence du vent, bloquent les polluants sur place et peuvent conduire pour les mêmes émissions de l'agglomération, à des niveaux nettement supérieurs à ceux des jours les moins pollués.

#### 4.2.9. Environnement sonore (source : <http://carto.bruitparif.fr/>, et portail d'informations du Conseil Général du Val-de-Marne)

##### 4.2.9.1. Cadre réglementaire

Une directive européenne de 2002, relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, a pour but de permettre une évaluation harmonisée de l'exposition au bruit. Ce texte a été transposé en droit français par le biais de plusieurs ordonnances et décrets afin d'être intégré, en 2006, dans le Code de l'Environnement dans un chapitre intitulé « *Évaluation, prévention et réduction du bruit dans l'environnement* ». Ce texte donne obligation aux collectivités locales d'établir une carte du bruit dès que le trafic annuel d'une infrastructure routière ou autoroutière dépasse les 3 millions de véhicules, ou que le trafic annuel d'une infrastructure ferroviaire est supérieur à 30 000 passages de train.

##### 4.2.9.2. La cartographie départementale de l'environnement sonore

Soucieux de l'amélioration générale de l'environnement sonore des Val-de-Marnais, le Conseil général a très tôt souhaité disposer d'un outil de connaissance et de prévision de l'environnement sonore à l'échelle du département. Dans le sillage de sa charte de l'environnement sonore, le Conseil général s'est ainsi engagé, sans en avoir l'obligation réglementaire, dans la réalisation d'une cartographie du bruit des grandes infrastructures de transport (routes, voies ferrées, aéroports, voies fluviales). Cette démarche a été menée en deux temps :

- cartographie du réseau structurant (grands axes routiers, ferroviaires, aériens et fluviaux) et état des lieux de l'environnement sonore sur ce réseau ; cette première phase, réalisée par le Département avec le bureau d'études Acouphen Environnement, est maintenant achevée;
- enrichissement progressif de ce référentiel sonore par l'intégration des données relatives aux routes communales et à l'exposition au bruit industriel (ICPE soumises à autorisation), en lien avec les communes et intercommunalités. Cette deuxième phase, qui est en cours de finalisation (via l'Observatoire du bruit) a permis aux collectivités concernées de respecter leurs obligations réglementaires en matière de production de cartes de bruit stratégiques (directive européenne sur le bruit dans l'environnement). En favorisant l'adoption d'une méthode unique de modélisation, cette démarche d'amélioration a également garanti la cohérence du référentiel sonore à l'échelle du département.

La carte départementale du bruit permet, par modélisation, d'informer sur les niveaux sonores générés par les infrastructures de transport du Val-de-Marne (routier, ferroviaire, aérien) ou par certains sites industriels, auxquels les populations peuvent être exposées dans leurs lieux de vie (habitat, écoles, jardins...). Elle concerne le Val-de-Marne et les territoires voisins limitrophes, dans un rayon de 300 mètres.

Les niveaux sonores présentés sont :

- des niveaux d'exposition à l'extérieur ;
- gradués selon une échelle de 5 en 5 décibels (du vert peu bruyant (50dB(A)) à violet très bruyant (75dB(A)) ;
- des valeurs moyennes sur l'année.

En plus d'être un véritable outil au service de la population, la cartographie départementale a également pour ambition d'être un support pour la mise en œuvre de politiques publiques de prévention.

Elle permet de saisir l'ampleur des enjeux sanitaires et sociaux liés à la problématique des nuisances sonores.

### 4.2.9.3. L'environnement sonore du Val-de-Marne : état des lieux

#### 4.2.9.3.1. Le bruit lié aux grandes infrastructures de transport

Avec 4 autoroutes, 9 nationales et 422 km de voirie départementale, le Val-de-Marne dispose d'un important réseau de transport routier structurant. A ces grands axes routiers, s'ajoutent deux grands réseaux ferroviaires directement interconnectés à Paris, et un aéroport international. Si le Val-de-Marne est donc un département bien desservi, il est aussi bien concerné par le bruit des infrastructures de transport.

Globalement, la carte de l'ambiance sonore (Cf. Figure 57) liée à l'ensemble des modes de transport montre des zones où les quatre sources de bruit (réseau routier, réseau ferroviaire, transport aérien, transport fluvial) se superposent. Ces zones de multi-exposition, les plus bruyantes sur le territoire, sont situées au sud du département.

Cependant, il est à noter que cette carte ne permet pas en l'état d'identifier les zones de calme puisqu'elle ne prend pas en compte le bruit généré par les voies communales d'une part et par les industries d'autre part.

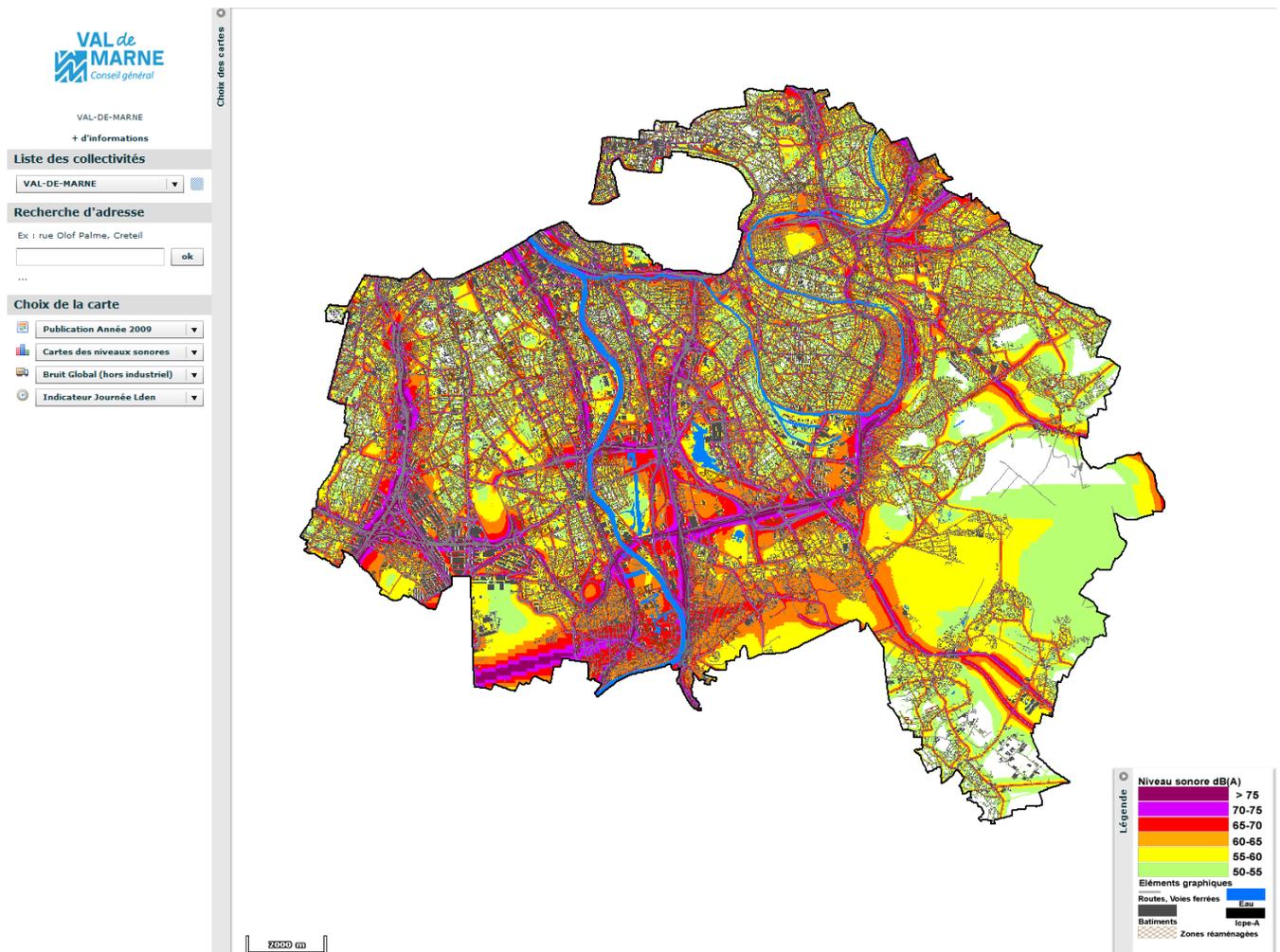


Figure 57 : Cartographie du bruit Val-de-Marne

- **Le bruit lié au transport routier**



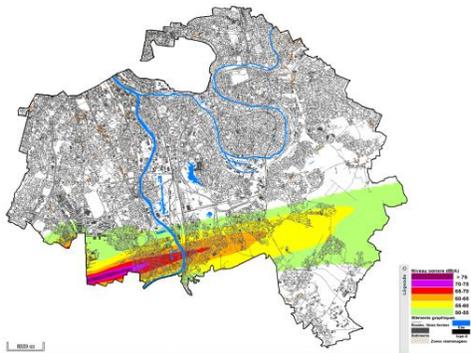
Parmi les différents modes de transports, c'est l'empreinte sonore des autoroutes, routes nationales et départementales les plus structurantes qui prédomine, tant en termes de niveau sonore que d'étendue géographique. Ainsi, en Val-de-Marne, près d'une personne sur cinq (18,1 % de la population, soit 227 200 habitants) est exposée à un bruit routier dépassant les valeurs seuils européennes (68 dB(A) en Lden). Principale responsable : la voirie départementale (189 700 personnes), le bruit émis le long du réseau national ne concernant que 32 500 personnes.

- **Le bruit lié au transport ferroviaire**



Le trafic ferroviaire constitue également une source de bruit importante en termes de niveaux d'exposition, mais son empreinte ne concerne que quelques fronts bâtis. Preuve en est le chiffre relativement limité – 16 800 habitants (1,4%) – des Val-de-Marnais exposés à un bruit ferroviaire dépassant les valeurs seuils européennes (73 dB(A) en Lden<sup>3</sup>).

- **Le bruit lié au transport aérien**



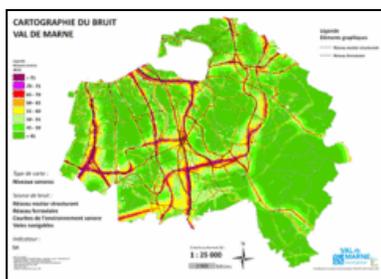
Au-delà de la prise en compte du nouvel indicateur de bruit européen, le Lden1, qui a le mérite de mieux représenter la gêne des riverains, une réflexion en cours étudie l'opportunité d'adopter d'autres indicateurs de bruit qui traduisent mieux la gêne des riverains des aéroports.

<sup>3</sup>Le niveau sonore sur une carte de bruit est représenté à partir d'indicateurs de bruit. Les deux indicateurs réglementaires sont le "Ln" (Level night) et le "Lden" (Level day-evening-night). Une journée de 24h est divisée en trois périodes : le jour entre 6h et 18h, le soir entre 18h et 22h et la nuit entre 22h et 6h. Les niveaux sonores sont calculés pour :

- le Ln qui est le niveau sonore moyen pour la période de nuit (22h-6h) ;
- le Lden qui est le niveau sonore moyen de la journée auquel est ajoutée une pénalité de 5 dB(A) pour la période du soir (18h-22h) et de 10 dB(A) pour la période de nuit (22h-6h). Ces pénalités sont représentatives d'une gêne ressentie, vis-à-vis d'un même bruit, plus importante le soir et la nuit par rapport au jour.

La carte de bruit aérien ci-dessus est conforme aux cartes de bruit réglementaires existantes. L’empreinte de l’aéroport de Paris-Orly est nettement visible au sud du département, où plusieurs communes subissent des nuisances sonores, certes localisées, mais très prononcées. Cette démarche, qui s’inscrit dans le cadre des Assises d’Orly, entend notamment rendre compte de la gêne propre à certaines zones de riveraineté éloignée qui, bien que situées en dehors des zones de bruit, connaissent des niveaux sonores et des fréquences de survol non négligeables (proximité avec l’axe des pistes, zones correspondant à l’interception de l’ILS, etc.).

- **Le bruit la nuit**



En période nocturne (de 22h à 6h), les constats ne sont pas les mêmes. Les zones les plus impactées sont essentiellement situées à proximité des grands axes (A6, A106 A86, A4), ainsi que de certains axes nationaux.

L’écart entre les niveaux sonores de nuit et ceux correspondant à une journée de 24 heures, se situe aux alentours de 7 dB(A) près des grands axes routiers, ce qui est assez caractéristique du réseau routier d’Ile-de-France. En effet, le trafic reste relativement important la nuit tandis que le jour, le trafic est stable avec des saturations en période de pointe (matin, midi, soir). La nuit, en Val-de-Marne, 135 510 habitants (11 % de la population) sont exposés à un bruit routier dépassant les valeurs seuils européennes (62 dB(A) en Ln) : 103 200 personnes (8,4 %) le long d’une voie départementale et 23 570 (1,9 %) le long d’une voie nationale. La nuit, 16 700 habitants (1,4%) sont exposés à un bruit ferroviaire dépassant les valeurs seuils européennes (65 dB(A) en Ln).

#### 4.2.9.4. Environnement sonore du site à Bonneuil-sur-Marne

Selon les études réalisées à la demande du Conseil Général du Val de Marne, la Figure 58 et la Figure 59 montrent que le site d’implantation du nouveau forage GBL-4 à Bonneuil-sur-Marne est soumis à un environnement sonore moyennement important le jour car il est à proximité de voies de circulation qui induisent du bruit routier. La nuit, la circulation diminuant, le site est dans une zone peu bruyante.



**Figure 58 : Carte des niveaux sonores (bruit global hors industriel) selon l’indicateur journée Lden au droit du site d’implantation du nouveau forage à Bonneuil-sur-Marne**



**Figure 59 : Carte des niveaux sonores (bruit global hoer industriel) selon l'indicateur nuit Ln au droit du site d'implantation du nouveau forage à Bonneuil-sur-Marne**

#### 4.2.10. Urbanismes et servitudes

##### 4.2.10.1. Réglementation – Code de l'urbanisme relatif au site

La loi NOTRE du 7 août 2015 a modifié le Code Général des Collectivités Territoriales afin d'y introduire les dispositions suivantes :

« L'établissement Public Territorial élabore de plein droit, en lieu et place des communes membres, un plan local d'urbanisme intercommunal »

Ainsi, au 1er Janvier 2016, le territoire 11 devient compétent en matière de PLU (Plan Local d'Urbanisme) en lieu et place de la ville de Bonneuil-sur-Marne. Toutefois l'instruction des autorisations liées à ce règlement reste à la compétence du Maire.

Pour l'heure, la commune de Bonneuil-sur-Marne est régie par un PLU qui remplace le plan d'occupation des sols (POS) depuis le 2 décembre 2010. Le PLU de Bonneuil-sur-Marne a été approuvé le 27 septembre 2007. Il a été modifié par délibérations du Conseil Municipal les 19 juin 2008, 1er octobre 2009, 25 mars 2010, 29 juin 2010 et mis à jour par arrêté municipal le 15 juillet 2008. Le PLU est un document d'urbanisme et de planification soumis à enquête publique, il est composé de 5 pièces principales :

- un rapport de présentation ;
- un Projet d'Aménagement et de Développement Durable, (PADD) qui définit le politique d'ensemble et les éventuels projet d'aménagement de la commune ;
- un plan de zonage ;
- un règlement ;
- des annexes (plan de servitudes, de contraintes, ...).

Les espaces boisés classés sont cartographiés ainsi que les secteurs où la préservation des ressources naturelles ou l'existence de risques naturels (inondations, incendie de forêt) justifient certaines interdictions ou conditions spéciales.

Le PLU délimite des zones, urbaines et naturelles, où sont définies en fonction des situations locales, les règles applicables relatives à l'implantation, à la nature et à la destination des sols :

- les zones urbaines sont dites zones U ;
- les zones à urbaniser sont dites zones AU ;
- les zones agricoles sont dites zones A ;
- les zones naturelles et forestières sont dites zones N.

Le PLU doit, s'il y a lieu, être compatible avec les dispositions du Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT), du schéma directeur, du schéma de mise en valeur de la mer et de la charte du parc naturel régional ainsi que du plan de déplacements urbains et du programme local de l'habitat.

Le site de la centrale géothermique appartient à une zone UCc du PLU de la commune de Bonneuil-sur-Marne (Cf. Figure 60). Selon les dispositions applicables à la zone UCc du PLU, cette zone mixte comprend les quartiers résidentiels sous forme d'habitat collectif (République, Saint Exupéry, Cité Fabien, quartier des Libertés) ainsi que de grands secteurs dédiés aux équipements sportifs et d'enseignement. Les petites activités économiques compatibles avec la vocation résidentielle (commerces de détails, services à la population...) y sont admises.

Cette zone UC est divisée en deux secteurs :

- un **secteur UCc** correspondant à l'ensemble du secteur collectif;
- un **secteur UCh**, situé à l'angle de l'avenue du docteur Emile Roux et de l'avenue de Choisy, à la limite de la zone pavillonnaire, espace de transition entre la zone pavillonnaire et les quartiers collectifs.

Le projet présenté ici respecte les dispositions relatives à la zone UCc du PLU de Bonneuil-sur-Marne.

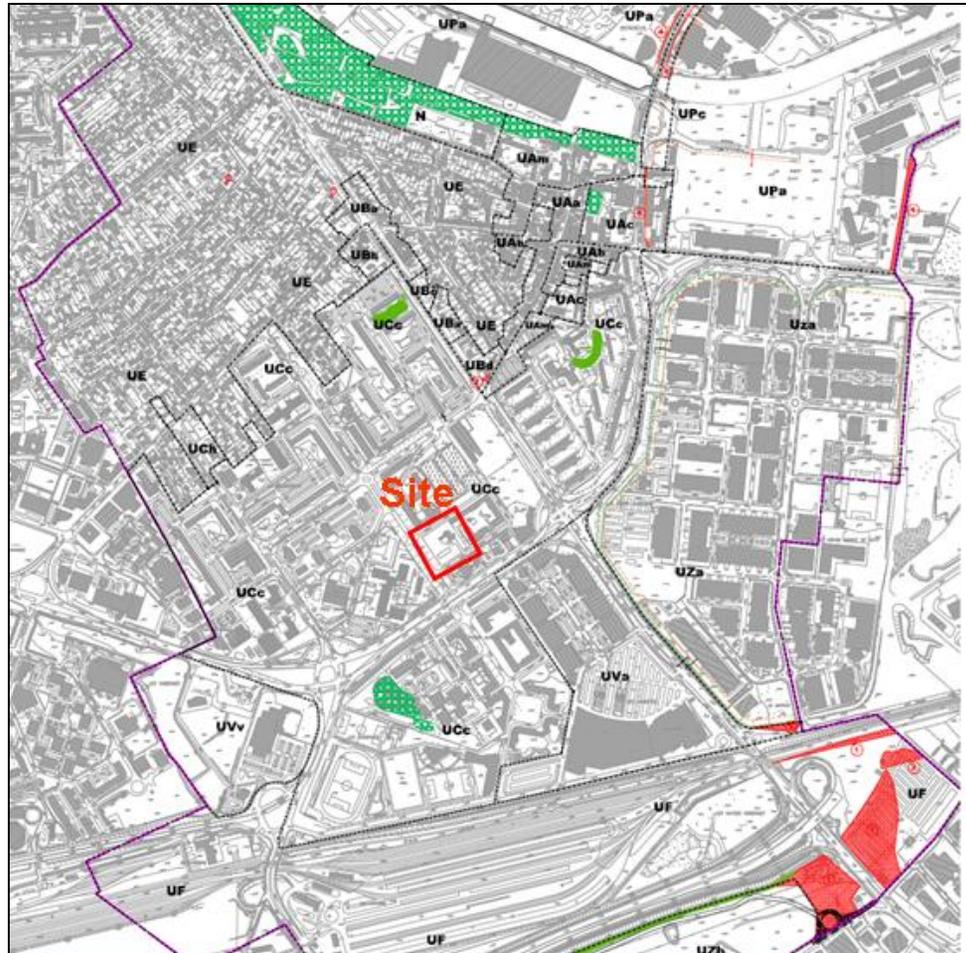


Figure 60 : Zonage du PLU concernant le site

#### 4.2.10.2. Servitudes

La liste des servitudes d'utilité publique qui affectent l'utilisation des sols est fixée, conformément à l'article L. 126-1 du Code de l'Urbanisme par décret en Conseil d'Etat. Cette liste est donnée par l'article R. 126-1 du code de l'urbanisme qui en distingue 4 grandes catégories :

- les servitudes relatives à la conservation du patrimoine ;
- les servitudes relatives à l'utilisation de certaines ressources et équipements ;
- les servitudes relatives à la défense nationale ;
- les servitudes relatives à la salubrité et à la sécurité publique.

Le site de la centrale géothermique n'est pas soumis à des servitudes d'utilité publique. Le site n'est pas soumis en particulier à des servitudes aériennes. L'aéroport le plus proche est Orly situé à environ 15 km de Bonneuil-sur-Marne.

#### 4.2.10.3. *Projet d'Aménagement et de Développement Durable, (PADD)*

Le PLU de Bonneuil-sur-Marne ne présente pas de PADD.

#### 4.2.11. Servitude au titre du code minier

L'arrêté n°2014/6325 du 24 juillet 2014 autorise le syndicat mixte pour la production et la distribution de chaleur à Bonneuil-sur-Marne (SETBO) à poursuivre l'exploitation du gîte géothermique à basse température du Dogger jusqu'au 15 janvier 2028.

#### 4.2.12. Réseaux

Pour ce qui concerne le site, il sera nécessaire de s'assurer de l'absence de canalisation sur la zone du chantier. Les concessionnaires des réseaux seront consultés préalablement à l'ouverture du chantier.

#### 4.2.13. Risques industriels et naturels

Risques d'inondation

Un Plan de Prévention du Risque (PPR) inondation et coulées de boues par ruissellement en secteur urbain a été prescrit le 9 juillet 2001. Il existe aussi un risque d'inondation par débordement des réseaux d'assainissement, le Conseil Général a élaboré un schéma directeur départemental d'assainissement (SDDA) entre 2008 et 2020 répertoriant 8 points touchés par ce phénomène. La figure suivante présente la carte du risque d'inondation dans les sédiments (source BRGM).



## Risques de foudre

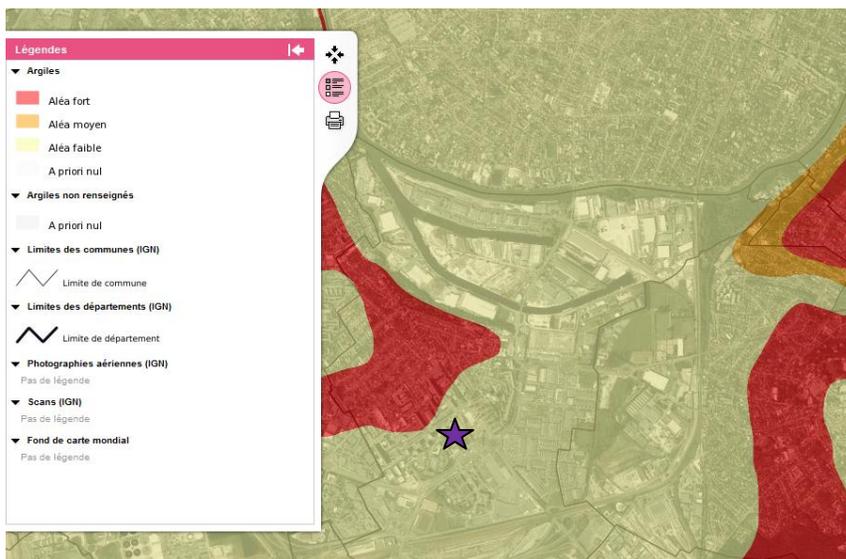
Atténué par mesures (paratonnerres) de protection de la chaufferie.

## Risques sismique

Sans objet. Zone stable (bassin sédimentaire intracratonique faiblement tectonisé) sans activité sismique historique rapportée.

## Risques de mouvements de terrain

Risque par retrait-gonflement des argiles : un effet de retrait-gonflement des argiles existe sur la commune dû à l'alternance entre des périodes de sécheresse et de réhydratation. Ce risque est classé en aléa faible sur la zone de la centrale (étoile).



### 4.3. Analyse des impacts du projet et mesures destinées à supprimer, ou compenser, les effets négatifs

La présente partie évalue les effets du projet engendrés sur le milieu physique, naturel et humain, qu'ils soient positifs ou négatifs, ainsi que les mesures compensatoires envisagées. Ces deux parties sont présentées ensemble afin de mieux apprécier leur causalité.

Le recensement des impacts des travaux sur l'environnement doit permettre de définir la meilleure implantation et organisation de moindre impact en intégrant les observations effectuées lors de l'état initial, ainsi que les contraintes techniques, économiques et géologiques.

En application du décret du 25 février 1993 modifié relatif aux études d'impact, sont distingués ci-après :

- les effets directs par opposition aux effets indirects : ces derniers s'entendent comme extérieurs au site de l'opération et dont l'importance et la nature sont moins faciles à appréhender ;

- les effets temporaires par opposition aux effets permanents : ils correspondent aux impacts limités dans le temps (il s'agit notamment des impacts liés à la phase de travaux) opposés à ceux qui découleront de la réalisation du projet dans sa globalité.

#### **4.3.1. Impact sur le contexte socio-économique de la ville**

##### **4.3.1.1. Impact temporaire**

La présence d'équipes de forage, de supervision et de travaux aura un impact positif sur le contexte économique local (comme l'hôtellerie et la restauration).

##### **4.3.1.2. Impact permanent**

Le renouvellement du doublet géothermique aura un impact incontestablement favorable sur la commune de Bonneuil-sur-Marne, en effet les bâtiments vont engendrer une image écologique positive due à l'alimentation du réseau par une énergie renouvelable et améliorer de ce fait les conditions de vente du patrimoine urbain. Ce doublet permettra d'augmenter la production géothermale qui passera de 120 m<sup>3</sup>/h à 240 m<sup>3</sup>/h ce qui permettra de nouveaux raccordements et une couverture géothermique au moins 75% des besoins. De plus, ce projet permettra de garantir des tarifs compétitifs aux abonnés.

Ces abonnés sont répartis de la manière suivante :

- 1 maison de retraite,
- 5 groupes scolaires,
- 3 bâtiments sportifs (gymnases et piscine),
- 1 médiathèque,
- 22 résidences.

#### **4.3.2. Protection du patrimoine**

Le site n'est pas soumis à une servitude liée à la protection du patrimoine.

#### **4.3.3. Impact sur la circulation et les infrastructures**

##### **4.3.3.1. Impact temporaire**

Le chantier fera l'objet d'une signalisation et d'un affichage conformes à la réglementation et aux usages applicables en matière de circulation urbaine, d'éclairage et de balisage de chantiers de travaux publics et de forage/sondage. Un document de sécurité et de santé précisera les modalités d'accès et de circulation sur le site 'cet aspect est traité au chapitre 5).

En dehors des phases d'amenée et de repli des équipements de forage (qui s'effectuera par convoi exceptionnel), le nombre de véhicules lourds empruntant la voie d'accès à la plate-forme de forage restera limité à l'approvisionnement de consommables (fioul, tubage, ciment...) et à l'évacuation des déchets. Ce trafic, très variable en fonction des phases et de l'avancement du chantier n'excèdera pas, en moyenne, une rotation quotidienne de deux véhicules lourds (15-20 tonnes).

Un trafic de véhicules légers sera induit par les rotations de personnel de l'entreprise de forage et de supervision (10 à 15 rotations par jour).

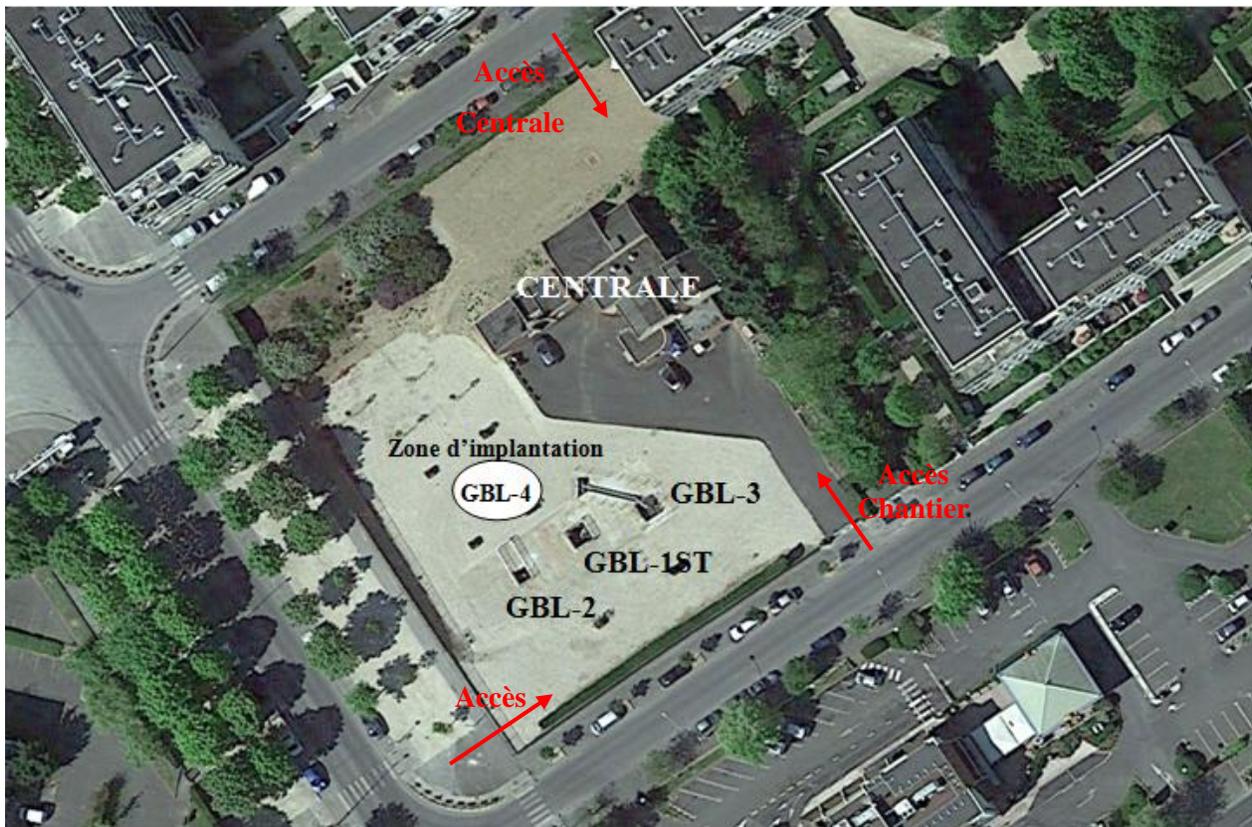
Un contrôle des capacités de roulage de la voie d'accès sera effectué par l'entreprise de forage préalablement à l'amenée et repli de l'appareil de forage. Des aménagements pourraient y être réalisés au moment des travaux de génie civil de la plate-forme.

Le raccordement du site à la route sera aménagé de sorte que les conducteurs d'engins puissent manœuvrer sans constituer d'obstacle ou de risque vis-à-vis de la circulation.

De façon générale, les modalités d'accès au chantier, de circulation et de stationnement des véhicules et engins en phase d'amené/repli de l'appareil de forage et sa dotation et durant les travaux fera l'objet d'une concertation avec les services de la voirie matérialisée par un protocole *ad hoc*.

Enfin, une information des modifications de circulation, des conditions de stationnement et de la durée du chantier devra être réalisée auprès de la population.

. Au stade du projet actuel, afin de ne pas gêner l'activité de la centrale thermique et de faciliter la circulation sur le chantier, il est envisageable de prévoir l'entrée du chantier au carrefour de la rue Gabriel Péri et de l'avenue Jean Moulin. L'accès à la centrale se ferait par la rue Bouglione du fait de la présence d'un portail (Cf. Figure 61).



**Figure 61 : Projet d'implantation du chantier de forage**

Pour limiter l'impact du chantier sur le trafic routier, des prestations de propreté (nettoyage des véhicules et de la voirie) seront prévues. Les camions sortant du chantier transiteront par une fosse de nettoyage des roues, surtout en période de pluie, quand le chantier sera boueux. De plus, les camions de transport de matériaux seront couverts en période ventée pour limiter l'envol des poussières.

**Tableau 31 : Estimation du nombre de camions desservant le site selon les phases de travaux sur GBL-4**

Activité sur le chantier	Nombre de camions estimé
Amenée de l'appareil de forage	40 camions
Livraison du tubage pour les deux puits	20 camions
En cours de forage	2 camions/jour pour le traitement des effluents soit : 80 camions par puits.
Pendant les opérations de Tubage, cimentations et diagraphies (par puits)	10 camions
Repli de l'appareil de forage	40 camions
Nombre total estimé de camions pour un puits : 190	

#### 4.3.3.2. Impact permanent

L'activité d'exploitation de la centrale géothermique n'aura pas d'impact notable sur les infrastructures voisines. Le réseau routier est peu impacté durant les travaux d'entretien des puits. Les interventions lourdes de *workover* sont relativement rares voire exceptionnelles (Cf. Tableau 32), et occasionne la circulation d'une vingtaine de poids lourds vers la parcelle.

Les opérations les plus courantes nécessitent des approvisionnements de 1 ou 2 poids-lourds voire 5 à 10 pour les interventions lourdes à caractères exceptionnelles.

La centrale géothermique étant dans une enceinte privée, les opérations qui s'y dérouleront auront un impact négligeable sur la circulation. En aucun cas des travaux de maintenance ou de réhabilitation ne pourront perturber les voies de circulation. Il sera prévu au niveau de la zone des forages, une aire de demi-tour pour les véhicules se rendant sur le chantier.

**Tableau 32 : Travaux et emprises prévisibles lors de l'exploitation du doublet géothermique**

Nature opération	Durée	Fréquence	Emprise au sol	Nombre et type de véhicules
Remontée Descente de pompe	15 jours	Tous les 4-5 ans	600 m <sup>2</sup>	- 1 grue de 20 tonnes - 3 à 4 citernes de 20 m <sup>3</sup> - 2 semi-remorques plate-forme
Curage Réhabilitation	4 semaines	Tous les 10 – 15 ans si l'état des puits le justifie	900 m <sup>2</sup>	- Appareil de réhabilitation autoporté - Rotation de poids lourds (citernes semi-remorques, toupies...)
Inspection cuvelages	1 journée	- Tous les 3 ans pour les puits de réinjection - Tous les 5 ans pour le puits de production	300 m <sup>2</sup>	- 1 camion de mesure - 1 grue de 20 tonnes
Zone de sécurité		Permanente	Rayon de 15 m autour des puits	Véhicules d'exploitation légers

#### 4.3.4. Impact sur la sécurité des personnes

##### 4.3.4.1. Impact temporaire

Le périmètre des travaux, l'accès aux piétons et aux véhicules légers seront réglementés et entièrement sécurisés.

Concernant le personnel à l'oeuvre sur le site, les accès et cheminements, piétonnier et automobile, seront balisés, éclairés et sécurisés. Un plan d'accès de jour et de nuit aux véhicules de sécurité (tels que pompiers, ambulances...) sera mis en place, et mis à jour régulièrement.

Le chantier sera balisé, clos (grillage ou bardage périphérique de 2 mètres de hauteur) et interdit au public par voie d'affichage (panneaux). Le concessionnaire se chargera d'informer et de faire respecter les consignes de sécurité au public, aux employés et aux entreprises extérieures. Ces entreprises établiront un Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (P.P.S.P.S.) listant les dangers et les moyens de prévention.

Le lecteur est prié de se référer au chapitre 5 relatif aux documents de sécurité et santé pour plus de détails concernant la sécurité sur le chantier..

##### 4.3.4.2. Impact permanent

La configuration du site interdit l'accès à la plateforme et à la centrale à toutes personnes non autorisées.

La nouvelle tête de puits sera implantée dans des caves maçonnées recouvertes de dalles de béton avec accès par trou d'homme, comme c'est le cas actuellement. (Cf. Figure 62).



**Figure 62 : Implantation des têtes de puits GBL-1ST et GBL-3 sur le site de la centrale géothermique de Bonneuil-Sur-Marne**

#### 4.3.5. *Impact sur le paysage, la faune et la flore*

##### 4.3.5.1. *Impacts temporaires*

Les travaux seront effectués en zone fortement urbanisée n'appartenant pas à une ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique) ou à une zone Natura 2000, donc sans flore locale, ni faune particulière à protéger. De plus ils s'effectuent dans l'enceinte de la centrale géothermique déjà en place.

Les aménagements du site au cours des travaux seront par la suite remis en l'état identique de l'état initial.

##### 4.3.5.2. *Impacts permanents*

Comme dans le cas du précédent doublet, le paysage ne sera pas impacté par le système géothermal dont les équipements seront enterrés. Les têtes de puits se situeront en sous-sol dans des caves maçonnées recouvertes de dalles en béton. Ainsi aucun équipement à l'exception des dalles, le cas échéant végétalisées, ne sera visible.

#### 4.3.6. *Impacts sur le sol et les eaux de surface*

Une étude ADEME-brgm réalisée en 1994 a permis d'évaluer la toxicité des eaux du Dogger et d'évaluer les conséquences d'une éventuelle pollution des eaux potables. Il en ressort que lors d'une pollution par l'eau du Dogger, la première manifestation est gustative avec une forte augmentation de la teneur en NaCl, espèce considérée comme ni toxique, ni indésirable.

Lorsque la proportion en eau géothermale augmente, la pollution provient des teneurs en sulfures et en hydrocarbures dissous puis des métaux toxiques. Les teneurs maximales sont toutefois en dessous des seuils critiques.

Les bactéries sulfato-réductrices non pathogènes et les additifs de traitement de cette eau injectés en très faible quantité, ne présentent pas de danger direct pour la consommation humaine. Les fiches techniques et toxicologiques des produits utilisés indiquent un danger de pollution écologique du milieu aquatique pour de fortes concentrations. Ces produits, injectés en faibles quantités dans le Dogger (2 à 5 mg/l), réagissent dans le milieu et leur action neutralise la majeure partie des effets nocifs. Il est bon de rappeler que l'eau du Dogger est naturellement corrosive et fortement chargée en NaCl et de ce fait, elle est impropre à la consommation ainsi qu'au développement d'organismes aquatiques.

Le caractère non toxique, mais polluant de l'eau géothermale, implique de rechercher quelles nappes et quels puits seraient susceptibles d'être atteints, par une pollution causée par le percement du cuvelage d'un des puits. Ce point est développé dans le paragraphe 4.4, relatif à l'incidence des travaux et de l'exploitation sur les ressources en eau et la compatibilité du projet avec le SDAGE Seine-Normandie.

Toutefois, il est essentiel de préciser que la conception des puits géothermiques empêche le contact entre le fluide et les couches géologiques traversées, jusqu'à la surface. En exploitation, la circulation du fluide géothermal dans la boucle – puits de production – canalisations de surface – puits d'injection - n'a aucun impact sur les eaux de surfaces ou souterraines.

Le risque prévisible concernant le sous-sol réside dans la contamination d'un aquifère par de l'eau géothermale à la suite d'un percement du cuvelage. Cet aquifère pourrait devenir impropre à la consommation ou à l'utilisation. Les mesures prévues pour supprimer, réduire ou éviter la survenance d'un tel accident interviennent à trois niveaux :

- à la conception de l'ouvrage ;
- en cours d'exploitation ;
- lors des contrôles périodiques dits réglementaires qui sont décrits en détail dans le paragraphe 2.9.

Du point de vue des mesures compensatoires, dans le cas d'interventions programmées, des moyens de canalisation et de collecte des effluents liquides seront prévus et décrits préalablement dans le Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé de l'opération (PPSPS). En cas de déversement accidentel ou en cas de fuite importante de fluide géothermal, des mesures ou des moyens d'intervention spécifiques seront définis.

Pour ce qui concerne l'artésianisme, celui-ci sera maîtrisé lors des travaux par la boue de forage constituée d'un mélange d'eau et de bentonite et lors des interventions dans les puits par injection de saumure. La pression hydrostatique exercée par la boue de forage et la saumure permettent de maintenir en place les fluides présents dans les terrains perméables.

On se référera au paragraphe 5.2 pour les mesures de prévention applicables dans le cadre de l'exploitation.

#### *4.3.6.1. Impact temporaire*

La mise en place d'une semelle en béton imperméable au niveau de la plate-forme de forage, la cave de la tête de puits et le passage d'engins lourds sur le chemin d'accès correspondent à des changements de fonction et d'usage du sol et à ce titre sont à l'origine d'impacts.

Les produits chimiques et le fioul seront stockés dans des cuves et bacs de rétention.

Lors du forage des puits, la pression artésienne du puits est constamment maîtrisée par la densité de la boue et par le BOP (bloc obturateur de puits), équipement installé en tête de puits qui permet la fermeture hydraulique du puits en urgence et de maîtriser l'éruption naturelle du fluide. Les fluides sont ensuite dirigés vers des bacs de traitement.

#### *4.3.6.2. Impact permanent*

Le risque principal pour les eaux de surface vient d'une possible fuite des eaux chaudes et sulfurées géothermales. Outre la mise en place d'une cave étanche, maçonnée, de 3 mètres de côté environ, aucun impact permanent sur le sol n'est identifié. Le site sera nettoyé et remis en état. Lors de d'opérations d'entretien ou de maintenance d'un puits géothermique, l'eau géothermale produite par le puits est évacuée après refroidissement en dessous de 30°C et dilution, vers le réseau d'assainissement (réseau EU) local. Avant démarrage des travaux une autorisation de rejet est demandée au gestionnaire du réseau. Cette demande précise le débit de rejet, sa température et la composition chimique de l'eau géothermale.

#### *4.3.7. Impacts sur la géologie et les aquifères profonds*

Les impacts sur la géologie et les aquifères profonds sont traités en détail dans la partie 4.4. Incidence des travaux et de l'exploitation sur les ressources en eau ; compatibilité avec le SDAGE Seine-Normandie et le SAGE du bassin Versant qui prend en compte la compatibilité avec les SDAGE du Bassin Seine-Normandie.

### 4.3.8. Impact visuel

#### 4.3.8.1. Impact visuel temporaire

Les nuisances visuelles concernent la vision de l'appareil de forage et les fumées et vapeurs émises durant les travaux. Les fumées seront inexistantes, toutes les motorisations sensibles (treuil, pompes, tête d'injection rotative – *top drive*) étant électriques. Les vapeurs et condensations interviendront ponctuellement au plancher lors des manœuvres d'ajouts et de dégerbage de tiges et, de façon quasi-permanente, lors de la recirculation et du refroidissement des eaux de formations via la ligne de traitement sans borbier. On sait par expérience que cet impact est limité et localisé au voisinage immédiat du plancher de travail et des tours de refroidissement.

En été, la ventilation naturelle est présumée peu active. A contrario, sauf exception, la présence de brumes et de brouillards matinaux est peu probable. Dans ces conditions, on peut raisonnablement escompter un impact faible en phase forage.

Les seules causes de condensation importante de vapeurs géothermales interviendraient lors des tests pré et post acidification en fin de forage/complétion, phases durant lesquelles les débits éruptifs élevés escomptés du réservoir géothermal éviteront le recours à une unité de compression/surpression *air lift*. Les brouillards de faible à moyenne densité provoqués pourraient poser problème vis-à-vis de la circulation automobile de l'avenue de la Division Leclerc mitoyenne, auquel cas il serait décidé d'arrêter momentanément le test. Cet inconvénient, jugé à priori peu voire non dommageable, ne doit cependant pas être sous-estimé et les équipes de chantier concernées préparées à cette éventualité à l'occasion des "briefings" préalables.

Concernant le mât de forage, une clôture provisoire, d'une hauteur de 2,50 mètres environ, de couleur neutre, limitera l'accès au chantier et atténuera l'impact visuel lié à la présence d'engins et des équipements de forage notamment pour les piétons circulant aux abords du chantier.

Une balise lumineuse de faible puissance signalera la position du mât la nuit pour des raisons de sécurité aérienne et l'aire de chantier sera éclairée la nuit.



**Figure 63 : Exemple d'implantation d'un chantier de forage dans un contexte très urbanisé (site de Maisons-Alfort)**

#### 4.3.8.2. *Impact visuel permanent*

La seule partie visible des installations est la plate forme bétonnée sous laquelle sont enterrées les têtes de puits.

#### 4.3.9. *Impacts sur la qualité de l'air*

Les principaux rejets atmosphériques susceptibles de porter préjudice à la qualité du milieu sont les suivants :

- les poussières ;
- les gaz d'échappement des moteurs thermiques ;
- les gaz présents dans les fluides géothermaux.

##### 4.3.9.1. *Les poussières*

Les poussières seront générées par la circulation des engins de chantiers sur les voies d'accès et la plate-forme à tous les stades des travaux : génie civil, forage, remise en état.

Ces envois de poussières seront tributaires des conditions météorologiques : un temps sec et venteux sera plus défavorable qu'un temps calme et pluvieux.

##### 4.3.9.2. *Rejets des gaz de combustion des moteurs*

Les principaux rejets concernent les gaz de combustion des carburants (engins de chantier et groupes électrogènes alimentant l'appareil de forage). Les gaz émis seront essentiellement du CO<sub>2</sub>, du CO, du NO<sub>2</sub>, du O<sub>3</sub> et des poussières (suie de diesel). Les émissions et rejets gazeux resteront toutefois négligeables par rapport aux émissions générées par la circulation automobile. Par ailleurs, il convient de signaler qu'aucun obstacle ne viendra entraver la libre circulation de l'air au niveau des échappements et ne créera de phénomène d'atmosphère confinée.

Pour réduire les nuisances liées au gaz de combustion des moteurs, dans le cadre des mesures compensatoires, les engins de chantier répondront à la réglementation concernant les émissions des gaz d'échappement.

D'autre part l'exploitation du doublet géothermale permettra l'économie de plusieurs tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Cela compense très largement les émissions de CO<sub>2</sub> au cours du chantier.

##### 4.3.9.3. *Les gaz géothermaux*

#### • **Impact temporaire**

Compte tenu de la toxicité de certains gaz géothermaux, ce point fait l'objet d'un chapitre particulier dans le paragraphe 5.1.2.3, relatif à la protection contre le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S).

Pour rappel, vis-à-vis du risque H<sub>2</sub>S, les dispositions et consignes de chantier sont précises et rigoureuses installation de capteurs aux emplacements stratégiques – planchers, pompes, bacs, *flowline*-reliés à une centrale, réglage des alarmes visuelles (gyrophare) et sonore (klaxon) aux seuils de 5 et 10 ppm, port de masques et de bouteilles d'oxygène (assistance respiratoire) en tant que de besoin, port de capteurs en sautoir par le personnel d'encadrement (chef de chantier, chef de poste, intendant, superviseur).

Les émanations les plus importantes sont liées aux phases de dégorgeement artésien et/ou *air lift* lors des essais, en particulier au terme des phases de stimulation acide du réservoir en fin de forage/complétion. Elles seront effectuées suivant des horaires appropriés, de préférence la nuit, et seront précédées obligatoirement d'un *briefing* du personnel.

D'autre part, en vue d'atténuer sinon d'éradiquer les odeurs, il sera procédé à l'injection d'hypochlorite de soude.

- **Impact permanent**

En fonctionnement normal de la centrale, il n'existe aucun dégagement gazeux. Les seuls dégagements possibles ont lieu en cas de fuite. Sur un plan général l'impact de l'exploitation d'un doublet de géothermie est particulièrement positif vis-à-vis de la qualité de l'air (réduction des émissions de CO<sub>2</sub>).

La boucle géothermale, grâce à la pompe de gavage, fonctionne avec une pression en tous points de l'installation supérieure à la pression de point de bulle ; il n'y a donc pas de production de gaz en cours d'exploitation. Toute perte d'étanchéité de la boucle nécessite une réparation dans les plus brefs délais.

La quasi-totalité des interventions sur puits sera réalisée avec un contrôle de l'artésianisme du puits par injection de saumure et la mise en place d'un dispositif d'obturation automatique du puits en cas d'urgence.

Certains types de travaux comme une acidification douce d'un puits pourront être à l'origine d'une formation de gaz s'échappant à l'atmosphère. Les mesures de prévention et de sécurité pour le personnel proche des émanations seront décrites dans le PPSPS concerné.

L'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S), contenu dans le fluide géothermal, dégage une odeur désagréable à des faibles concentrations. Son odeur est perceptible dès 0,02 à 0,1 ppm (0,03 à 0,14 mg/m<sup>3</sup>), selon l'INRS. Cette perception de l'hydrogène sulfuré à très faible concentration est souvent responsable de nuisances olfactives mais ne représente pas de risques pour la santé en cas d'exposition accidentelle à une très faible concentration, selon l'échelle des seuils des effets toxiques donnés par l'INERIS et le Ministère du Travail.

Pour ce qui concerne le fonctionnement général de la centrale géothermique, il n'apportera aucune modification au climat. Comme par le passé, la centrale géothermique n'induit pas de rejet dans l'atmosphère car la centrale de production n'aura pas besoin de cheminée. Elle sera composée d'installations qui fonctionneront en circuit fermé. La ventilation des locaux devra respecter les normes en vigueur.

#### **4.3.10. Nuisances sonores**

##### **4.3.10.1. Impact temporaire**

La nuisance sonore générée par le chantier sera inhérente à l'utilisation de moteurs et de compresseurs qui fonctionneront en continu.

La mise en œuvre de tiges et de tubes dans une structure elle-même métallique (mât) engendrera également des bruits de chocs lors du « gerbage » et « dégerbage » des tiges dans le mât.

La rotation de l'outil et des tiges dans l'ouvrage pourra également générer occasionnellement des grincements et des bruits de frottement.

La circulation de véhicules lourds constituera également une nuisance sonore ponctuelle.

Pour réduire les nuisances sonores dans le cadre des mesures compensatoires, les engins de chantier répondront aux normes antibruit en vigueur (circulaire relative aux bruits émis par des engins de chantier du 16 mars 1978).

Le forage et ses équipements satellites (pompes, têtes d'injection rotative, quartier boue...) bénéficient d'une motorisation électrique, assurée par groupes autonomes ou par connexion/transformation (module SCR) au réseau MT.

- **Population concernée**

Dans le contexte du site seront concernés :

- le personnel travaillant sur le chantier de forage ; exposé en permanence au bruit, cette population disposera de moyens de protection spécifiques : casques antibruit, bouchons d'oreilles notamment ;
- les visiteurs occasionnels ainsi que les piétons ;
- les personnes travaillant à proximité,
- les personnes résidant à proximité.

Les nuisances sonores seront fortement réduites à l'intérieur des bâtiments.

- **Réglementation**

***Réglementation relative au personnel***

L'article 3 du Titre : bruit BR-1-R du Règlement Général des Industries Extractives (RGIE) indique que l'exposition au bruit doit demeurer à un niveau compatible avec la santé des personnes, notamment avec la protection de l'ouïe.

Les niveaux sonores à partir desquels des dispositions particulières doivent être prises sont respectivement de :

- 85 dB(A) pour le niveau d'exposition sonore quotidienne ;
- 135 dB(A) pour le niveau de pression acoustique de crête.

L'article 8 de ce même titre indique que lorsque l'exposition sonore quotidienne subie par une personne dépasse le niveau de 85 dB(A) ou lorsque la pression acoustique de crête dépasse le niveau de 135 dB(A), le personnel doit être informé, avec le concours du médecin du travail, soit au moyen d'une notice distribuée périodiquement, soit à l'occasion de séances d'information organisées à cette fin :

- des risques résultant, pour son ouïe, de l'exposition au bruit ;
- des moyens pouvant être mis en œuvre pour lutter contre le bruit et contre ses effets ;
- du rôle de la surveillance médicale de la fonction auditive.

L'article 12 indique que lorsque l'exposition sonore quotidienne subie par une personne dépasse le niveau de 85 dB(A) ou lorsque la pression acoustique de crête dépasse le niveau de 135 dB(A), des protecteurs individuels doivent être mis à sa disposition.

Cet article précise également que lorsque l'exposition sonore quotidienne subie par la personne dépasse le niveau de 90 dB(A) ou lorsque la pression acoustique de crête dépasse le niveau de 140 dB(A), l'exploitant prend toutes dispositions pour que les protecteurs individuels soient utilisés.

- **Bruit de voisinage**

La réglementation applicable aux travaux de forage s'appuie sur le décret n°2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage et modifiant le code de la santé publique (dispositions réglementaires).

Il est à souligner que l'indicateur principal de gêne retenu par ce décret est l'émergence sonore, c'est-à-dire la différence entre le niveau de bruit ambiant (obtenu lorsque l'installation est en fonctionnement) et le niveau de bruit de fond résiduel (état initial avant présence de l'installation). L'indicateur de niveau de bruit retenu est le Laeq évalué sur une durée d'au moins trente minutes. Les

mesures doivent se conformer à la norme NFS31-010 remise à jour en décembre 1996. L'émergence est déterminée dans les zones à émergence réglementée, c'est-à-dire au niveau des zones constructibles définies par les POS ou le PLU locaux ou encore au niveau des habitations existantes (à l'intérieur des locaux).

Ce décret donne des valeurs maximales admises pour l'émergence (bruit de voisinage) dès que le niveau de bruit ambiant est supérieur à 30 dB(A) (Cf. Tableau 33). Pour les valeurs inférieures à 30 dB(A), l'émergence sonore ne sera pas recherchée.

**Tableau 33 : Valeurs d'émergence maximales admissibles**

Niveau de bruit ambiant	Emergence admissible de	
	7h à 22h	22h à 7h
Supérieur ou égal à 30 dB(A)	5 dB(A)	3 dB(A)

L'article R. 1334-33 précise que l'émergence sonore pourra être majorée selon la durée d'apparition du bruit de chantier. La majoration ne pourra cependant excéder 5 dB(A).

L'article R.1334-36 et l'article 2 du paragraphe 3 précise que si le bruit (...) a pour origine un chantier de travaux public ou privé (...) l'atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme est caractérisée par l'une des circonstances suivantes :

- le non-respect des conditions fixées par les autorités compétentes (...);
- l'insuffisance des précautions appropriées pour limiter ce bruit ;
- un comportement anormalement bruyant.

Est puni de la peine d'amende prévue pour les contraventions de 5<sup>ème</sup> classe : (...)

- le fait (...) de ne pas respecter les conditions de leur réalisation (...) fixées par les autorités compétentes, de ne pas prendre les précautions appropriées pour limiter le bruit (...).

Le matériel mis en œuvre pour le forage devra être conforme aux normes et en particulier :

- à la réglementation du bruit de matériels et engin de chantier (Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie – Service de l'Environnement Industriel- février 1980) ;
- aux consignes de sécurité d'un forage de la Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production en Pétrole et Gaz Naturel.

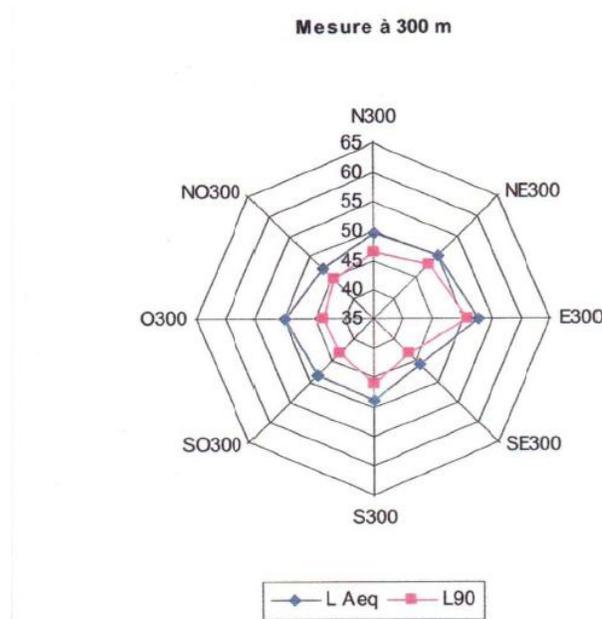
• **Evaluation du bruit généré par un chantier de forage**

La figure suivante illustre une rose des bruits établie suite à des mesures acoustiques effectuées sur un forage mobilisant un appareil de capacité voisine à celui envisagé. LAeq est le niveau de pression acoustique continu pondéré sur un intervalle de temps précis (dépendant du phénomène acoustique mesuré) ; L90 correspond à la pression acoustique qui est dépassés pendant 90% du temps de l'intervalle de mesure considéré, il s'agit du bruit de fond. Les mesures sont réalisées par vent fort du sud-ouest, à 300 m de la machine dans 8 directions différentes. Les mesures restent en dessous de 55 dB (A) à 300 m ; l'appareil respecte ainsi les valeurs limites imposés par le Règlement Général des Industries Extractives (RGIE).



Des mesures de bruit (audit acoustique) seront impérativement diligentées avant le démarrage du chantier (état acoustique initial) puis pendant le chantier par un organisme neutre selon un protocole (capteurs acoustiques, aéromètre et localisations, phases de manœuvres etc....) *ad-hoc*.

Un monitoring acoustique réalisé en DTM (période de jour) d'un appareil candidat, récemment mobilisé (mars 2014) pour le forage d'un puits dévié profond est présenté en Figure 65. Un document similaire sera exigé de l'entreprise retenue pour les travaux.



**Figure 64 : Rose des bruits – Appareil de forage HH 300**

Si on confronte ces niveaux sonores à l'échelle du bruit de la Figure 66, on constate qu'un niveau sonore compris entre 40 et 67 dB(A) correspond aux niveaux sonores rencontrés dans une habitation, une fenêtre sur rue et dans une salle de classe.

Sachant que l'environnement sonore du site est de jour de l'ordre de 60 à 65 dB(A) selon la cartographie des niveaux sonores réalisée par le Conseil Général (Cf. Figure 49 et Figure 50), il apparaît que le chantier n'aura probablement pas un fort impact sonore le jour.

Pour ce qui concerne la période nocturne, toutes les mesures seront prises pour respecter la législation en vigueur. Afin de limiter l'impact sonore du chantier la nuit, les activités les plus génératrices de nuisances sonores seront réalisées uniquement de jour.

Au final, la principale gêne devrait être liée, de jour comme de nuit, aux chocs des tiges métalliques et au BIP de recul des engins de chantier.

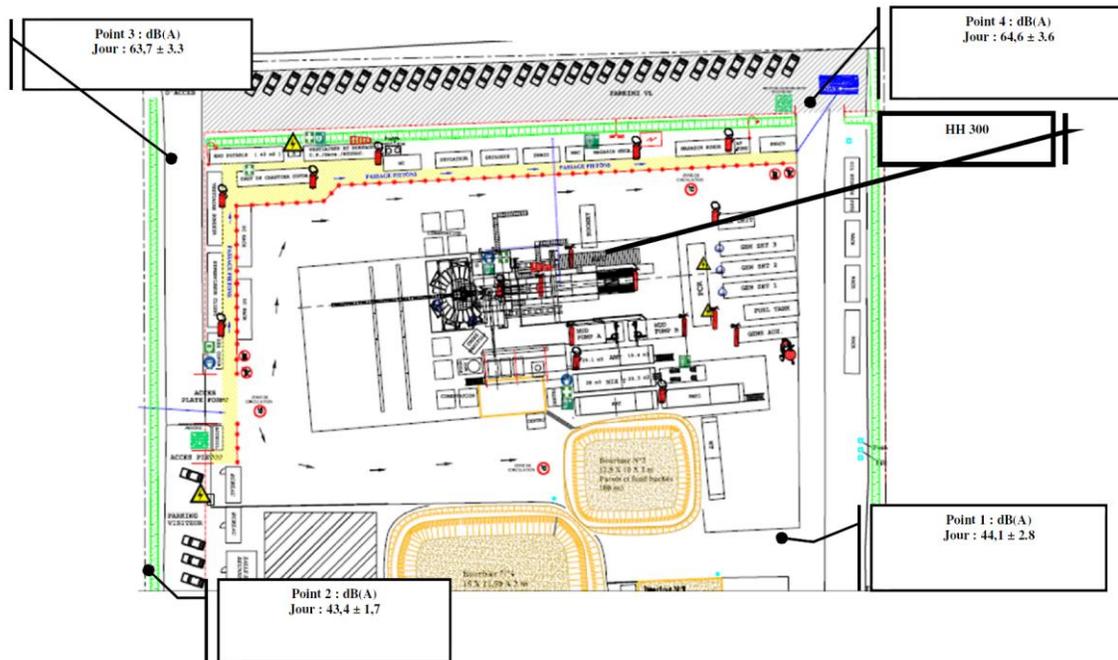


Figure 65 : Suivi sonore de l'appareil HH 300 (300 tonnes dyn.)

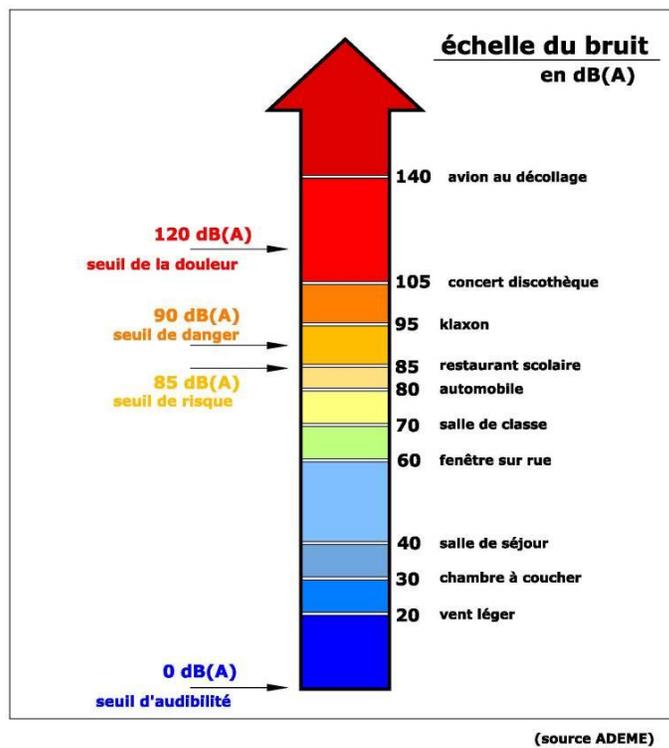


Figure 66 : Echelle du bruit en dB(A) (source ADEME)

- **Impact permanent**

Au cours de l'exploitation, au droit des puits, les bruits seront issus de la circulation des fluides dans les canalisations. La position en sous-sol dans des caves induira une atténuation de l'émergence de ces bruits.

Les bruits générés par les travaux de maintenance sur les puits seront ceux des compresseurs, des moteurs thermiques, des camions et les bruits de chocs entre les outils métalliques utilisés par les intervenants. L'ensemble de ces engins sera conforme à la réglementation sur les émissions sonores.

Il est à noter que les horaires d'intervention seront conformes à la réglementation en vigueur.

Au niveau de la centrale géothermique, les deux sources de bruit liées à l'exploitation des puits géothermiques seront principalement :

- les pompes de circulation : 80 dB(A) ;
- les transformateurs électriques : 70 dB(A).

Il est à noter que l'installation fonctionnant 24h/24 et 7j/7, ces conditions correspondent au cas le plus contraignant (nuit, week-end et jours fériés).

Les véhicules de transport, les matériels de manutention et les engins de chantier utilisés à l'intérieur de la centrale géothermique seront conformes aux dispositions en vigueur les concernant en matière de limitation de leurs émissions sonores. En particulier, les engins de chantier seront conformes à un type homologué.

**Il est à noter que le fonctionnement du nouveau doublet n'occasionnera pas plus de nuisance sonore que le doublet mis en service depuis 1985.**

#### *4.3.11. Impact sur les réseaux existants*

- **Impact temporaire**

Lors des travaux, les réseaux d'alimentation en eau potable et d'assainissement seront sollicités avec l'accord des concessionnaires respectifs.

Le réseau géothermique existant traversant le chantier, il sera nécessaire de prendre des dispositions afin de ne pas le détériorer lors de la réalisation des travaux.

- **Impact permanent**

Les opérations étant circonscrites à l'intérieur du périmètre de la centrale géothermique et des têtes de puits, grâce à l'installation de conduites d'eau thermale reliant les têtes de puits à la centrale géothermique, elles n'impactent pas les réseaux existants.

#### *4.3.12. Déchets et propreté du site*

Les déchets ou effluents produits par les chantiers de forage sont les suivants :

- résidus de boue de forage ;
- déchets Industriels Banals (D.I.B.) notamment les déblais de forage (*cuttings*) et déchets métalliques ;
- eaux géothermales et eaux de ruissellement ;
- les déchets ménagers et assimilés ;
- les déchets spéciaux (hydrocarbures...).

- **Risques**

Le risque d'atteinte à la santé des travailleurs provient de l'ingestion, du contact ou de l'inhalation de produits pétroliers (carburants et lubrifiants) ou chimiques susceptibles d'être présents dans les boues ou les déblais.

Dans le contexte décrit, le risque d'atteinte à la santé des travailleurs par les déchets des chantiers apparaît très peu probable. Il s'agit néanmoins de préserver la salubrité du site durant la période des travaux.

Il est à noter que les boues, fabriquées essentiellement à partir d'argile naturelle et de bio polymères ne présentent pas de danger pour la santé humaine.

- **Boue de forage et déblais**

*Déblais*

Les déblais (cuttings et chips) de forage seront récupérés en sortie des vibrateurs dans des bacs semi-lunes lavés puis malaxés, au moyen d'une pelle mécanique, avec du ciment (taux 10 %) pour faciliter et sécuriser leur évacuation. Les solides ainsi prétraités seront évacués par camions bennes vers un centre de traitement agréé et les quantités attestées par les BSD (bordereaux de suivi des déchets) émis par le Centre : les déblais traités seront ensuite déposés sur un site agréé.

*Fluides (boues) de forage*

Les boues seront du type (i) bentonique simple (BBS), (ii) eau claire additionnée de bouchons haute viscosité, (iii) boue aux polymères cellulosiques additionnées parfois de glycol à fonction lubrifiante (toit du réservoir), et (iv) boue salée aux biopolymères dégradables à 100 % (réservoir).

Les volumes de boues estimés s'élèveraient à hauteur de 3000 m<sup>3</sup>.

Les boues évacuées pour dilution seront recueillies dans un bac tampon capacité 30 m<sup>3</sup> puis reprises par électropompe pour stockage dans des bacs de capacité 50 à 80 m<sup>3</sup> (total 300 à 350 m<sup>3</sup>). Elles seront ensuite pompées après déshydratation et traitement des solides, par camion citerne sous vide, puis acheminées vers un centre de traitement agréé, les enlèvements étant comptabilisés, conformément à la réglementation, par BSD. Les fluides feront l'objet d'analyses aux fins de contrôle de conformité puis traités sous réserve de salinité réduite (limitée à 4 g/l éq. NaCl), de l'absence d'huiles et d'une DCO (demande chimique en oxygène) sur filtrat inférieure à 3 g/l, caractéristiques qui répondent aux spécifications du programme proposé, à l'exception de la phase réservoir qui nécessitera une dilution à l'eau claire pour abaisser sa salinité.

- **Déblais et autres Déchets Industriels Banals.**

Les déblais qui auront été contaminés accidentellement par des hydrocarbures seront évacués vers des décharges qui traitent ce type de déchet.

Le chantier produira peu de déchets industriels banals constitués de pièces métalliques et de ferrailles. Ceux-ci seront constitués pour l'essentiel des tricônes usés, des élingues et câbles métalliques réformés, des protecteurs métalliques de tubage et des chutes (découpes) de tubage. Ces déchets seront transférés vers une entreprise de récupération des métaux.

- **Eaux géothermales et eaux de ruissellement**

L'emprise du chantier est ceinturée par un merlon ou un fossé périphérique, de sorte à ce que les eaux de pluies ne puissent entraîner dans le milieu naturel les éventuelles pollutions présentes sur la plateforme.

Les essais par dégorgeage artésien pré et post acidification mobiliseront une ligne de traitement sans borbier, assurant les fonctions de dégazage, filtration (# 50 µm) et refroidissement (# 30°C), selon un mode opératoire largement éprouvé en *workovers* géothermiques.

Les eaux ainsi traitées –dégazées, filtrées et refroidies- seront rejetées à l'égout (réseau eaux usées, EU) après dilution à l'eau claire dans le but de diminuer leur salinité.

En cours d'exploitation, le rejet d'eau géothermale dans le réseau d'assainissement sera limité aux opérations de maintenance nécessitant ponctuellement le rejet de faibles volumes d'eau salée (recherche de fuite à l'eau douce, curage hydraulico-mécanique...). Ces rejets, estimés à quelques mètres cubes tous les 2 à 3 ans, seront rejetés dans le réseau dans des conditions fixées par son gestionnaire, sous réserve du respect de la convention établie avec ce dernier, en particulier sur les valeurs limites de rejet.

Une demande d'autorisation de déversement provisoire des eaux usées, autres que domestiques, de l'établissement géothermal dans le réseau public d'assainissement sera faite auprès de la Direction des Services de l'Environnement et de l'Assainissement du département du Val de Marne.

Les prescriptions générales qui y seront formulées, fixeront - sans préjudice des lois et règlements en vigueur – les contraintes applicables aux rejets. Les eaux devront :

- être neutralisées à un pH compris entre 5,5 et 8,5 ; à titre exceptionnel, en cas de neutralisation alcaline, le pH pourra être compris entre 5,5 et 9,5 ;
- être ramenées à une température inférieure ou au plus égale à 30° C ;
- ne pas contenir de matières ou de substances susceptibles de :
  - porter atteinte à la santé du personnel qui travaille dans le système de collecte ou à la station d'épuration ;
  - endommager le réseau public d'assainissement, les équipements connexes et la station d'épuration ;
  - entraver le fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées et le traitement des boues ;
  - être à l'origine de dommages sur la flore et/ou la faune aquatiques, d'effets nuisibles sur la santé ou d'une remise en cause d'usages existants (prélèvements pour l'adduction en eau potable,) à l'aval des points de déversement des collecteurs publics ;
  - empêcher l'évacuation des boues en toute sécurité d'une manière acceptable pour l'environnement.

La température et la teneur en sulfure d'hydrogène feront l'objet d'une attention particulière. Dans le cas où les services chargés de la police des eaux imposeraient des normes plus strictes que ce dernier, l'entrepreneur sera contraint de s'y soumettre.

#### • Déchets ménagers

Aucun rejet d'eaux usées issues des sanitaires ne sera autorisé directement dans le milieu naturel. Les sanitaires seront reliés au réseau d'assainissement ou à des dispositifs autonomes étanches dont la vidange sera réalisée autant que nécessaire en cours de chantier.

Les abords des chantiers et les installations de chantier seront tenus parfaitement propres (absence de papiers, de détrit, de ferrailles, de bidons...). Les déchets seront collectés et transportés quotidiennement vers la déchetterie la plus proche. Cette prestation sera à la charge de l'entreprise de forage. Le volume concerné sera faible et un tri sélectif (papiers et cartons, verre et bouteilles plastiques) sera demandé à l'entreprise de forage.

- **Combustibles et lubrifiants**

Le stockage d'huiles, d'hydrocarbures et de tout autre produit toxique ou polluant pour les eaux est interdit en dehors des emplacements aménagés à cet effet (citerne double enveloppe / aire étanche et couverte). Des bacs de rétention (éventuellement des bacs gonflables) seront placés sous tous les moteurs thermiques et équipements hydrauliques ainsi que sous les fûts d'huile en service ou non. Ces bacs seront vidangés fréquemment.

Les produits de vidange ou issus de fuites (hydrocarbures, huiles de graissage, solvants, etc.) ne devront pas entrer en contact avec les milieux naturels. Ces produits, ainsi que les terrains qu'ils auraient souillés, seront récupérés et acheminés vers des sites de gestion agréés .

Sur les installations de chantier, des dispositifs de protection seront mis en place pour les aires de stationnement et d'entretien des engins (bassin de vidange étanche, déshuileur, tissu absorbant les hydrocarbures...).

Pour tous les déchets toxiques ou dangereux, des certificats de destruction seront demandés aux prestataires en charge de leur élimination.

#### **4.4. Incidence des travaux et de l'exploitation sur les ressources en eau et compatibilité avec le SDAGE Seine-Normandie**

##### **4.4.1. Les schémas d'aménagement concernés**

###### **4.4.1.1. Le SDAGE du bassin Seine-Normandie**

Adopté par le comité de bassin le 29 octobre 2009, le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Seine-Normandie est un document de planification qui fixe, pour une période de six ans, « les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau et les objectifs de qualité et de quantité des eaux » (article L.212-1 du code de l'environnement) à atteindre dans le bassin de la Seine et des cours d'eaux côtiers normands. « Cette gestion prend en compte les adaptations aux changements climatiques » (article L.211-1 du code de l'environnement) et « la préservation des milieux aquatiques et la protection du patrimoine piscicole » (article L.430-1 du code de l'environnement).

Introduits par la loi sur l'eau de 1992, qui a conduit à l'adoption du premier SDAGE en 1996, le contenu et la portée juridique du SDAGE ont évolué pour constituer un plan de gestion du district hydrographique de la Seine au sens de la directive cadre sur l'eau de 2000. Cette dernière prévoit, pour chaque district hydrographique européen, la réalisation d'un plan de gestion qui fixe des objectifs environnementaux pour chaque masse d'eau du bassin (portions de cours d'eau, plans d'eau, eaux souterraines, eaux côtières et eaux de transition) et définit les conditions de leur réalisation. Ce plan de gestion est accompagné d'un programme de mesures qui énonce les actions pertinentes, en nature et en ampleur, pour permettre l'atteinte des objectifs fixés. Le SDAGE pour la période 2016-2021 étant en cours d'élaboration, ce projet est basé sur les dispositions en cours et prendra en compte les changements potentiels qui interviendront avec le nouveau SDAGE.

Le concept de « gestion équilibrée et durable de la ressource en eau » comprend notamment les mesures suivantes :

- la protection des eaux et la lutte contre toute pollution par déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects de toute nature et plus généralement par tout fait susceptible de provoquer ou d'accroître la dégradation des eaux en modifiant leur caractéristiques physiques, chimiques, biologiques ou bactériologiques, qu'il s'agisse des eaux superficielles, souterraines ou des eaux de la mer dans la limite des eaux territoriales ;
- le développement, la mobilisation, la création et la protection de la ressource en eau ;
- la promotion d'une utilisation efficace, économe et durable de la ressource en eau.

Avec le programme de mesures, le SDAGE est un outil de la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. Il contribue en particulier à l'un des axes majeurs identifiés dans la loi dite Grenelle 1 (Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement) correspondant à la protection des captages pour l'alimentation en eau potable.

Les objectifs de qualité et de quantité des eaux sont définis à l'article L.212-1 du code de l'environnement. Ils correspondent notamment à :

- un bon état chimique et un équilibre entre les prélèvements et la capacité de renouvellement pour les masses d'eau souterraines ;
- la prévention de la détérioration de la qualité des eaux.

Dans ce cadre réglementaire, la disposition n° 42 du SDAGE Seine-Normandie définit l'aquifère de l'Albien-Néocomien captif comme une zone protégée destinée à l'alimentation en eau potable pour le futur.

Les travaux de forage traversant cet aquifère et induisant ainsi un risque d'atteinte à sa qualité, des précautions sont prises. Ainsi, le programme de forage, et plus particulièrement le programme de boue relatif à la phase de forage 17"1/2 (Cf. 3.1.4.5) est adapté (la densité de la boue est contrôlée en permanence en cours de forage) pour éviter tout risque de pertes du fluide de forage au cours de la traversée de l'aquifère de l'Albien-Néocomien. Cette remarque vaut également pour la traversée des autres aquifères rencontrés au cours du forage, *a fortiori* l'Eocène Moyen et Inférieur (Lutétien, Yprésien).

D'autre part, en cours d'exploitation, les forages exposent également l'aquifère à un risque de pollution vis-à-vis duquel des dispositions techniques (complétion en matériaux composites) et réglementaires (diagraphies de contrôle de l'état des tubages tous les 3 ans pour le puits injecteur et traçage à l'eau douce tous les 5 ans pour le puits producteur) sont adoptées afin de le protéger. En outre, la pratique au départ de l'exploitation, de l'inhibition chimique à l'annulaire jusqu'au puits de réinjection, permet de se prémunir contre les dommages causés par la thermochimie corrosive et incrustante hostile du fluide géothermal comprenant une phase gazeuse dissoute enrichie en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>S.

La disposition n° 130 du SDAGE prévoit la maîtrise des impacts des sondages, des forages et des ouvrages géothermiques sur les milieux. Tout ouvrage dans le sous-sol, y compris les ouvrages de géothermie, quel que soient sa profondeur et son usage, doit être réalisé dans les règles de l'art et répondre aux contraintes réglementaires existantes, afin de préserver la ressource en eau. L'objectif est de garantir l'absence d'introduction de polluants et de préserver l'isolation des nappes traversées entre elles et vis-à-vis des inondations et des ruissellements de surface.

Pour respecter ces objectifs, en particulier pour la géothermie, il est fortement recommandé :

- que le maître d'ouvrage évalue les impacts du ou des forages d'ordre physique, thermique, qualitatif ou quantitatif sur le sous-sol et les milieux aquatiques et terrestres concernés ;
- que l'autorité administrative recense les ouvrages et tiennent compte de leurs impacts, notamment cumulés, dans le cadre de l'instruction administrative des dossiers ;

- que les eaux soient restituées dans leur réservoir d'origine ou valorisées par un autre usage, pour les projets d'ouvrages à prélèvement en nappe.

L'étude hydrogéologique réalisée dans le cadre du projet de Bonneuil-sur-Marne répond à la première recommandation relative au maître d'ouvrage. Le principe du fonctionnement en doublet, répond à la troisième.

#### *4.4.1.2. Le SAGE relatif au secteur d'étude : le SAGE « Marne Confluence »*

Les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) sont des déclinaisons locales du SDAGE au niveau des sous-bassins hydrographiques. Ces documents de planification de la gestion des eaux sont mis en œuvre progressivement sur des périmètres cohérents du point de vue hydrographique et / ou socio-économique (bassin versant, nappe d'eau souterraine, zone humide, estuaire,...). Etablis de façon collective avec l'ensemble des acteurs concernés par l'eau, leur élaboration peut s'étendre sur plusieurs années.

D'une manière générale, les SAGE permettent, entre autres, d'harmoniser les actions de chacun et d'ouvrir le dialogue entre les différents acteurs sur :

- la protection qualitative de la ressource en eau souterraine en particulier vis-à-vis des nitrates et des phytosanitaires ;
- l'incidence des prélèvements en nappe sur les débits d'étiage et la qualité des rivières ;
- l'inondation en basse vallée ;
- la préservation des milieux naturels et aquatiques.

Le secteur d'étude de Bonneuil-sur-Marne est concerné par le SAGE « Marne confluence », actuellement en cours d'élaboration (arrêté préfectoral approuvant le SAGE devant être publié fin 2015). Son périmètre, fixé le 14 septembre 2009, s'étend sur quatre départements (Paris, Seine-et-Marne, Seine-Saint-Denis et Val-de-Marne) et 52 communes. Le périmètre est visible sur figure 63.

Ses principaux enjeux sont :

- l'aménagement durable dans un contexte de développement urbain,
- la valorisation du patrimoine naturel et paysager de la Marne et de ses affluents,
- la conciliation des différents usages de l'eau,
- la qualité des eaux et des milieux aquatiques.

Le SAGE étant en cours d'élaboration, il ne correspond pas à un document réglementaire abouti à l'heure actuelle. Sur le périmètre de Bonneuil-sur-Marne, le SDAGE constitue par conséquent le seul document réglementaire de référence.

Les masses d'eau concernées par le SAGE à la date de l'établissement de ce dossier, ainsi que leur nomenclature selon la directive cadre sur l'eau, sont listées ci-dessous.



**Figure 67 : Périmètre du SAGE 2009-2015**

- Rivières :
  - la Gondoire de sa source au confluent de la Marne (exclu) (FRHR153) ;
  - le Ruisseau du Merdereau (FRHR154A-F6642000) ;
  - la Seine du confluent de la Marne (exclu) au confluent du Ru d'Enghien (inclus) (FRHR155A) ;
  - la Seine du confluent de l'Essonne (exclu) au confluent de la Marne (exclu) (FRHR73B) ;
  - le Canal de Chelles (FRHR508) ;
  - la Marne du confluent de la Gondoire (exclu) au confluent de la Seine (exclu) (FRHR154A) ;
  - la Marne du confluent de l'Ourq (exclu) au confluent de la Gondoire (exclu) (FRHR147) ;
  - le Ruisseau de chantereine (FRHR154A-F6641000) ;
  - le Morbras de sa source au confluent de la Marne (FRHR154B).
  
- Plan d'eau : Base de Vaires-sur-Marne (FRHL25) ;
- Masses d'eau souterraines :
  - de niveau 1 :
    - Tertiaire - Champigny - en Brie et Soissonais (FRH103) ;
    - Éocène du Valois (FRH104) ;
    - Tertiaire du Mantois à l'Hurepoix (FRH102) ;
    - de niveau 2 :
      - Albien-néocomien captif (FRH218).

Un autre élément important portant sur le territoire du SAGE Marne confluence est l'alimentation en eau potable (AEP).

En effet, l'alimentation en eau potable de 40 % du territoire de Marne confluence, ainsi que du nord et de l'est parisien, soit un total de 2,4 millions habitants, est assurée directement par des pompages dans la Marne par trois stations de production d'eau potable située dans le périmètre de Marne Confluence (Neuilly sur Marne, Joinville le pont et Saint Maur) (Cf. Figure 68).

Les 60 % de territoire restants sont alimenté par la Seine et en proportion tout à fait minoritaire par les nappes souterraines, notamment celle des calcaires de Champigny qui couvre toute la Seine-et-Marne.

Cette caractéristique confère au territoire une véritable responsabilité de « gestionnaire de ressources » destinée à l'eau potable des franciliens.

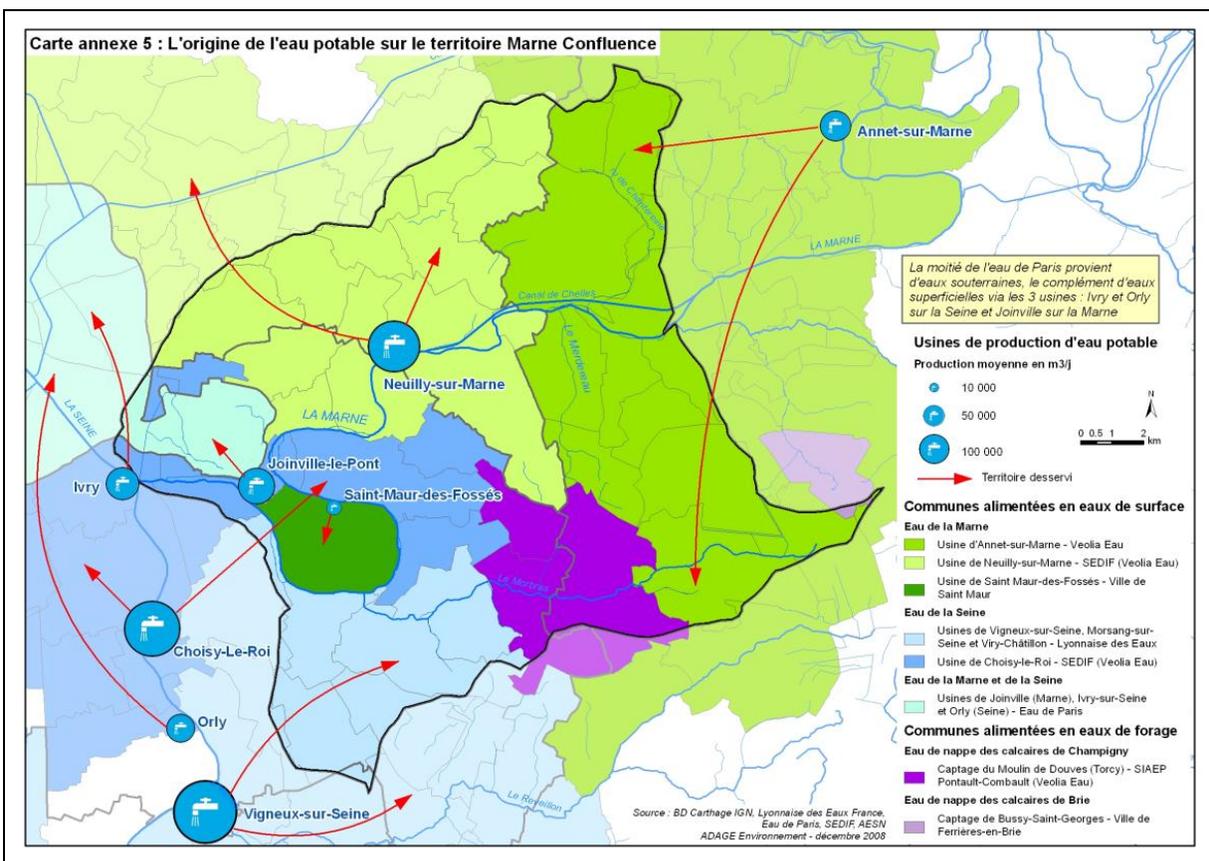


Figure 68 : L'origine de l'eau potable sur le territoire Marne Confluence

#### 4.4.1.3. Périmètre de protection

La carte suivante fournie par l'Agence Régionale de Santé du Val-de-Marne permet de localiser les périmètres de protection élaborés à ce jour.

**Le site du projet de géothermie concerné par ce dossier ne se situe dans aucun périmètre de protection d'alimentation en eau potable (Cf. Figure 69).**

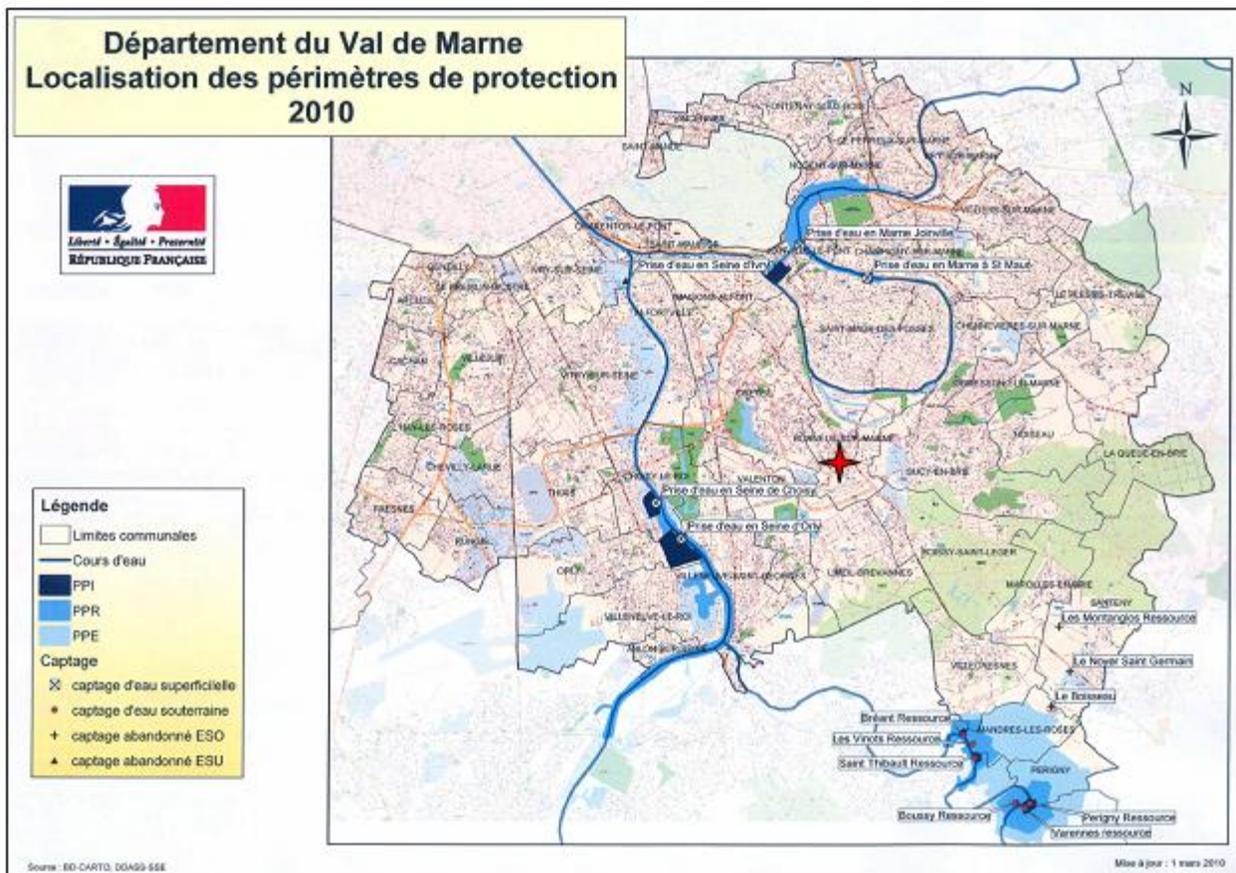


Figure 69 : Localisation des périmètres de protection du Val-de-Marne (source ARS Val-de-Marne)

#### 4.4.2. Protection des ressources en eaux souterraines au droit du site

L'objectif est de maintenir la salubrité, la température et la qualité bactériologique des nappes traversées lors de la réalisation du forage.

Il est par ailleurs indispensable d'éviter la communication entre les différentes nappes pour éviter le transfert de la pollution d'une nappe à une autre. Cette contrainte est prise en compte dès la conception de l'ouvrage.

##### 4.4.2.1. Les aquifères concernés

Les aquifères (ou nappes) concernés sont ceux dits « superficiels », du Quaternaire à l'Albien/Néocomien, par opposition à l'aquifère du Dogger, cible de ce projet. Les informations spécifiques à l'aquifère du Dogger ont été traitées dans la partie 2.3.3.2.

Les nappes identifiées pour les terrains superficiels au droit du site sont les suivantes :

## **Les nappes du tertiaire**

Cette vaste unité hydrographique se situe entre la Marne au nord jusqu'à Epernay, la Seine au sud jusqu'à Moret-sur-Loing et s'arrête à l'est par la cuesta d'Ile de France. Elle s'étend dans 7 départements : Aisne (02), Aube (10), Marne (51), Seine-et-Marne (77), Essonne (91), Seine-Saint-Denis (93) et Val-de-Marne (94).

Cette nappe est l'un des réservoirs majeurs de l'Ile-de-France. Elle alimente en eau potable près d'un million de franciliens dont 77% de la population du SAGE des Deux Morin.

Cette masse d'eau au sens de la directive est constituée par un ensemble multicouche de formations calcaires séparées localement par des intercalations marneuses ou marno-sableuses. Celle-ci est encadrée à sa base par la craie du crétacé supérieur. Cet empilement est composé de bas en haut des niveaux aquifères de l'Yprésien-Lutétien, Saint Ouen-Champigny.

L'ensemble de ces formations aquifères et des horizons semi-perméables les séparant se développe sur une épaisseur de 80 à 90 mètres.

- ***Les sables et calcaire du Bartonien (nappe du Calcaire de Saint-Ouen et des Sables de Beauchamp de l'Eocène supérieur (Marinésien et Auversien))***

Les aquifères du Bartonien sont difficilement dissociables. Le calcaire de Saint Ouen ne présente pas d'intérêt régional.

- ***la nappe du Lutétien et de L'Yprésien (Eocène moyen et inférieur)***

Cet ensemble nappe recouvre les calcaires grossiers du Lutétien, les sables de cuise (Yprésien) et les sables du sparnacien (Yprésien). Les calcaires grossiers sont karstifiée et représente l'horizon le plus important en terme de paramètres hydrodynamiques. Au niveau du site de la plate-forme des puits, le toit du calcaire grossier est estimé à une profondeur NGF de + 11 mètres. Les pertes enregistrées sur GBL-1 et les forages alentours captant ces niveaux sont des indices de l'importance de cette nappe.

*NB : Ces premières nappes devraient se rencontrer dans les cent premiers mètres du forage de Bonneuil-sur-Marne. Elles seront protégées du fluide du Dogger par une complétion en matériaux composites*

## **La nappe de la craie**

La craie fait partie des formations géologiques les plus importantes du bassin parisien. Elle affleure dans une grande partie du département de la Marne et se prolonge dans les départements voisins au nord et au sud. Du fait de sa très grande porosité, de son épaisseur importante et de la grande surface d'affleurement, cette formation géologique constitue un important réservoir d'eau. La nature de ce réservoir confère à la nappe une qualité naturelle.

*NB : Les nappes de l'Eocène moyen et inférieur, ainsi que la partie sommitale de la Craie, seront protégées par une double protection, à la fois par le tube de soutènement en acier cimenté et par la complétion en matériaux composites.*

## **La nappe de l'Albien**

Cette nappe, d'une surface équivalente à 100 000 km<sup>2</sup>, se situe sur les deux tiers du bassin de la Seine. Les couches géologiques de cette masse d'eau sont disposées en cuvette. Cette nappe, voit sa profondeur augmentée des bordures jusqu'au centre pour atteindre 1500 m de profondeur en son point le plus bas, aux alentours de Coulommiers. Elle est totalement sous couverture sur le territoire du SAGE. Elle est donc bien protégée des pollutions de surface et des contaminations bactériologiques et chimiques en l'absence de forage. Son alimentation est assurée essentiellement par drainage des nappes voisines. Sa

recharge est faible (0,003% de son volume par an), ce qui la rend très sensible aux prélèvements qui engendrent un affaissement de la piézométrie étendu et durable. Cette nappe n'est pour le moment guère exploitée et est considérée comme une réserve d'eau potable de secours ultime (arrêté du 23 février 2003 du préfet coordonnateur de bassin portant révision du SDAGE).

*NB : Conformément aux prescriptions de la DRIEE, la nappe de l'Albien sera protégée par une double protection, à la fois par le tube de soutènement en acier cimenté et par la complétion en matériaux composites. Les programmes de boue seront adaptés (Cf. Paragraphe 3.1.4.53.1).*

#### **4.4.2.2. Les ouvrages de captage recensés aux abords du site**

Dans un rayon large, soit 3 km autour du site, plus de 25 points d'eau ont été identifiés dans la base de données sous-sol du BRGM sur l'ensemble des ouvrages du sous-sol.

La carte suivante (Figure 70) permet de les localiser ; les caractéristiques des ouvrages exploités sont reportées dans le Tableau 34.

La majorité de ces ouvrages constituent des points de suivis des nappes (piézomètres).

Au niveau de l'alimentation en eau potable (AEP), aucun ouvrage n'est mentionné au niveau de la BSS et de l'ARS (Cf. Paragraphe 4.4.1.3).

#### **Il n'y a donc aucun impact sur un ouvrage d'alimentation en eau potable.**

Au niveau de l'alimentation en eau industrielle, un ouvrage destiné à l'irrigation se situe à une distance relativement proche du site et capte les calcaires grossiers du Lutétien. Compte tenu de la proximité de l'ouvrage GBL-4, le programme de boue sera adapté pour limiter les pertes et les rendre négligeables dans cette formation lors du forage. Dans le cas extrême de pertes totales le forage sera effectué à l'eau rendant l'impact nul.

Pour rappel, ces formations seront, lors de l'exploitation, protégées par double protection, par un tube de soutènement en acier cimenté et une complétion en matériaux composites.

Les autres ouvrages exploités se situent tous à plus d'un kilomètre. Compte tenu de leur utilisation et de la distance, ils ne subissent aucun impact (Cf. Figure 70).

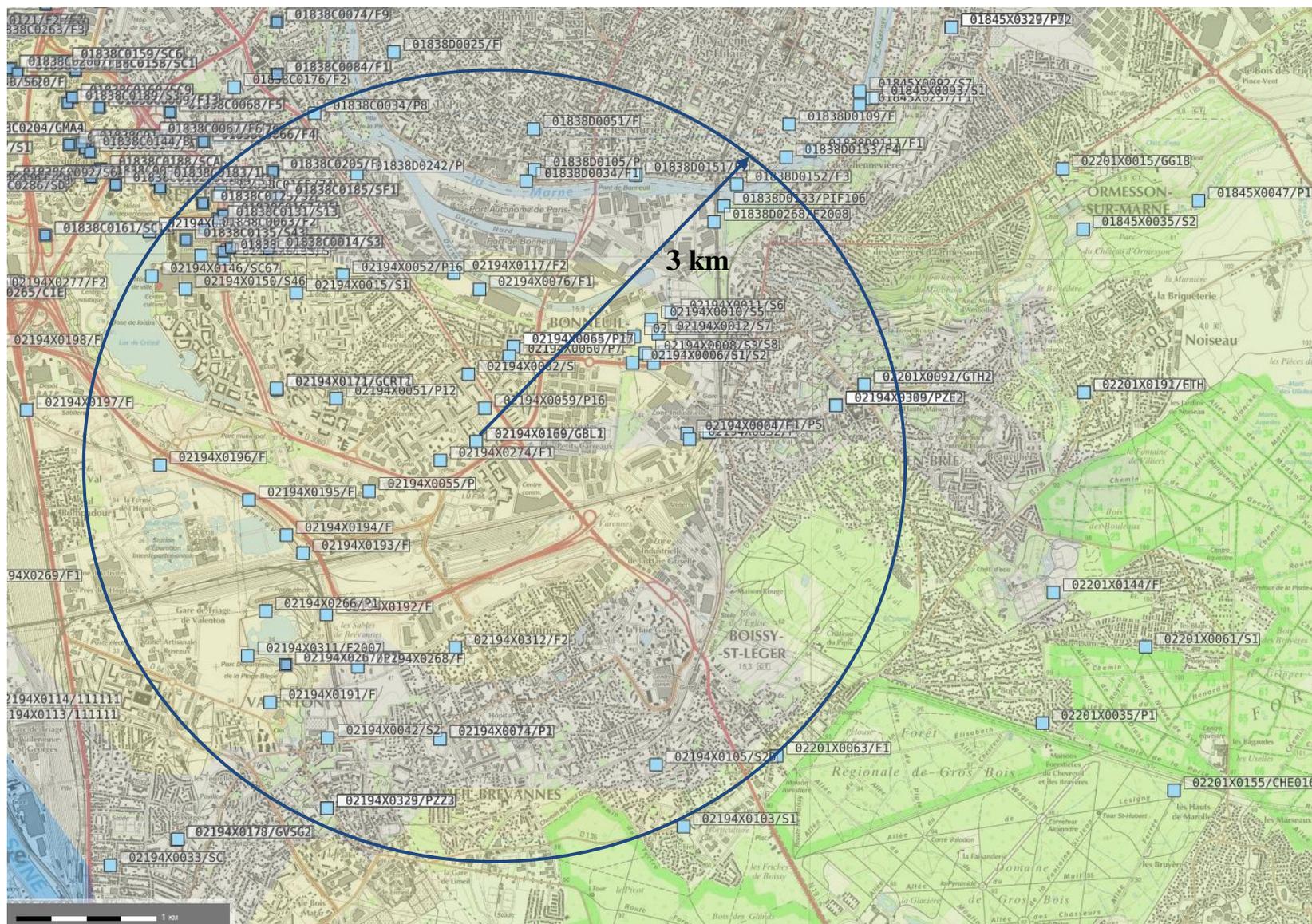


Figure 70 : Carte des ouvrages de sous-sol recensés autour du site du projet (source BSS-BRGM)

**Tableau 34 : Caractéristiques des points d'eau recensés dans un rayon de 3 km autour du site de Bonneuil-sur-Marne (source BSS).**

*Seuls les ouvrages destinés à l'eau et en exploitation ou dont l'utilisation/exploitation est inconnue sont reportés*

	x_I2e	y_I2e	Distance au site (mètres)	Commune	Nature	Prof. atteinte	Date de réalisation	Etat de l'ouvrage	Maitre d'ouvrage - Propriétaire	Utilisation
02194X0274/F1	610590,4	2418714,6	289	Bonneuil sur Marne	Forage	55,0	2000-01-28	?	PEPINIERES BORDET	Irrigation
02194X0076/F1	610861,0	2419935,0	1085	Bonneuil sur Marne	Forage	13,0	1965-11-01	?	USINE SONOFAM	eau industrielle
02194X0117/F2	610676,0	2420050,0	1212	Bonneuil sur Marne	Forage	148,0	1970-01-01	Accès	SOCIETE SONDFAM	eau industrielle
01838D0268/F2008	612528,0	2420430,0	2307	Bonneuil sur Marne	Forage	50,0	2008-10-16	?	GRUPE VEOLIA PROPRETE	
02194X0329/PZZ3 à 02194X0324/PZZ1	609000,0	2417938,0	2000 à 2400	Valenton	Piezomètres	-	-	Mesure régulière	SIAAP	Qualité eau
02194X0311/F2007	609230,0	2417310,0	2232	Valenton	Forage	80,0	2007-06-28	?	ESPACES VERTS 94	
02194X0267/P2	609503,0	2417248,0	2090	Valenton	Forage	65,0	1993-03-01	Exploité	ESPACES VERTS 94	irrigation
02194X0266/P1	609356,0	2417629,0	1926	Valenton	Forage	-	1991-01-01	?	ESPACES VERTS 94	
02194X0268/F	610015,0	2417239,0	1812	Limeil - Brevannes	Forage	67,0	1992-05-16	?	SEVM	eau industrielle
02194X0074/P1	611156,0	2416789,0	2084	Limeil - Brevannes	Forage	69,1	1888-01-01	?	ASSISTANCE PUBLIQUE	injection - eau ?
02194X0073/P2	611066,0	2416648,0	2213	Limeil - Brevannes	puits	84,4	1897-01-01	?	ASSISTANCE PUBLIQUE	injection - eau ?
01838D0272/PZ1 à 01838D0286/PZ30	610891 à 611001	2420743 à 2480870	1800 - 2000	St Maur des Fossés	Piezomètres	-	-	mesure régulière	TRANSRACK	eau industrielle
01838D0034/F1	611186,0	2420711,0	1891	St Maur des Fossés	Forage	12,0	1963-06-01	Pompe	-	eau industrielle
01838D0273/PZ2	610859,0	2420786,0	1936	St Maur des Fossés	Piezomètre	0,0	-	?	-	
01838D0152/F3	612686,7	2420700,4	2610	St Maur des Fossés	Forage	11,4	1963-06-01	Pompe	-	eau industrielle
01838D0025/F	610235,0	2421621,0	2837	St Maur des Fossés	Forage	17,0	1952-11-25	?	ETABLISSEMENT CHEVALIER	eau industrielle
01838D0153/F4	613036,9	2420895,5	2997	St Maur des Fossés	Forage	13,0	1963-06-01	Pompe	-	eau industrielle
01838D0151/F2	611966,3	2420760,5	2214	St Maur des Fossés	Forage	6,8	1963-06-01	Pompe	-	eau industrielle
01838D0051/F	611236,0	2421081,0	2264	St Maur des Fossés	Forage	35,0	1970-02-04	?	LABORATOIRES CINEMATOGRAPHIQUES	eau industrielle
01838D0105/P	611246,0	2420791,0	1981	St Maur des Fossés	Puits	12,0	-	Exploité	ET KAPS ET FILS	eau industrielle
01838C0205/F	609380,0	2420766,0	2412	Créteil	Forage	52,0	1985-09-27	Exploité		eau industrielle
02194X0032/F	612366,0	2418880,0	1520	Sucy en Brie	Puits	18,0		Exploité	VERRERIE ST-GOBAIN	eau industrielle
02194X0161/P5	612506,0	2418930,0	1661	Sucy en Brie	Puits	11,5	1976-06-01	Exploité.	VERRERIE ST-GOBAIN	eau industrielle
02194X0004/F	612346,0	2418920,0	1501	Sucy en Brie	Forage	75,1	1963-02-01	Exploité	VERRERIE ST-GOBAIN	eau industrielle
02194X0306/PZ4 à 02194X0310/PZE3	612387,4 à 612414,4	2419345 à 2 419450	1600	Sucy en Brie	Piezomètres	-	-	-	-	-

#### 4.4.2.3. Incidence des travaux sur les ressources en eaux souterraines et mesures compensatoires

En résumé, les principales mesures sont les suivantes :

- En cours de forage la formulation et la rhéologie des boues (mixte bentonitique et polymères celluloses à densité faible) ne présentent aucun danger pour les formations aquifères en regard. En phase d'exploitation l'intégrité de ces aquifères est garantie par la double protection tube et complétion.
- Le suivi règlementaire DRIEE de la boucle géothermale et des tubages (diagraphies différées d'inspection, traçage à l'eau douce) permet de déceler les indicateurs précurseurs de fuites/venues.
- *Last but not least*, la pratique, au départ de l'exploitation, de l'inhibition chimique du puits producteur jusqu'au puits d'injection permet de se prémunir contre les dommages causés par la thermochimie corrosive et incrustante hostile du fluide géothermal comprenant une phase gazeuse dissoute enrichie en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>S.

#### Durant la réalisation du forage

Les opérations de forage nécessitent la mise en contact des terrains avec la boue de forage destinée à remonter les déblais du forage, maintenir les parois du trou et refroidir les différents éléments de garniture de forage (outil, masses tiges et tiges).

Les besoins normaux (en l'absence de pertes) en eau nécessaire pour fabriquer la boue et compenser les pertes en eau dans le forage sont évaluées suivant les terrains traversés. Cette boue est composée d'eau et d'argile naturelle inerte (bentonite). Sa rhéologie est adaptée à la lithologie des terrains traversés dans le but de limiter au maximum les infiltrations de boue dans les terrains traversés.

Les boues sont soit constituées d'eau et de bentonite (argile naturelle), soit de bio polymères dégradables à 100 %. Elles ne constituent donc pas un risque de pollution pour les aquifères traversés.

Le déroulement des travaux de forage par phases successives de forage puis de pose de tubages à l'avancement limite les possibilités de mise en communication entre aquifères.

Par ailleurs la conception des puits décrite au paragraphe 3.1.4.5, prévoit une double protection, tube de soutènement en acier cimenté et complétion en matériaux composites tout le long du puits et *a fortiori* au niveau des calcaires et des sables du Tertiaire et à l'aplomb de la formation de l'Albien-Néocomien.

#### En cas de Fuite

Le risque maximal consiste en une perforation du tubage au niveau d'un aquifère capable d'absorber, pour le puits producteur, le débit artésien estimé à 250 m<sup>3</sup>/h.

En cas de fuite entraînant une sortie d'eau géothermale du puits producteur, la procédure suivie consiste, dès constatation de la fuite, à augmenter au maximum le débit d'exploitation de façon à abaisser la pression à l'intérieur du tubage en dessous de la pression statique de l'aquifère au niveau de la fuite. Cela provoque une entrée d'eau de l'aquifère dans le puits et évite la sortie d'eau géothermale du puits.

Ainsi on limite la pollution de l'aquifère rencontrée dans l'attente de la réalisation des travaux de réparation.

Les cotes et débits de fuite seront établis soit par traçage chimique, soit par mesure directe (thermométrie/débitmétrie), soit par tests de pressurisation sous *packer*.

La réparation peut alors être effectuée de plusieurs manières :

- *casing patch* si la configuration de l'ouvrage le permet
- rechemisage de la partie endommagée

Il est à noter en outre, le choix de la mise en œuvre d'un concept de puits anticorrosion, faisant appel à une architecture combinant tubages de soutènement acier et colonne de production en matériaux composites, et se présentant comme une solution matériau à la corrosion, limitant ainsi les risques de fuite.

#### 4.4.3. Incidence des travaux sur les eaux de surface

##### 4.4.3.1. Rappel des objectifs

Les objectifs fixés dans le SDAGE pour ce type de projet sont :

- la réduction des rejets au réseau d'assainissement ;
- éviter la pollution par ruissellement ou érosion incontrôlée (notamment en période de précipitation) ;
- la réduction de l'impact des rejets et des nuisances (polluants, pesticides, odeur, turbidité...).

Le cadre général est fourni par le double concept de la mise en œuvre des meilleures technologies disponibles à un coût économique acceptable et la prise en compte du milieu récepteur. Il faut développer des mesures préventives visant à réduire des pollutions potentielles et à prévenir des pollutions accidentelles.

Une politique transparente d'élimination des déchets en centres spécialisés doit être mise en place en portant une attention particulière à l'élimination des boues de curages et des déchets potentiellement dangereux à l'environnement. Une prise en compte globale de réduction des déchets à la source et des problèmes connexes de l'épuration doit être menée (bruit, abord, odeurs).

L'article L1331-10 du Code de la Santé Publique impose d'avoir une autorisation pour déverser des effluents autres que domestiques dans les réseaux communaux.

Le respect de la composition chimique et les teneurs maximales en composés de tout fluide rejeté au réseau conformément aux prescriptions du SDAGE est l'une des conditions à l'obtention d'une convention de déversement dans le réseau d'assainissement communal.

##### 4.4.3.2. Mesures compensatoires

Afin de limiter le risque de pollution potentielle par ruissellement ou par érosion, les stockages de produits, boue et hydrocarbures susceptibles de nuire à la qualité des eaux superficielles seront sécurisés par les rétentions étanches dûment dimensionnées. Pour limiter les rejets, les boues de forages suivront un circuit fermé et les volumes d'eaux usées qui pourraient subsister à l'issue de l'opération seront négligeables.

Les eaux de pluies pouvant entraîner des polluants type hydrocarbures vers les eaux superficielles seront collectées par des drains disposés sur la surface et une rigole de ceinture sur la semelle en béton de

la plate-forme de forage. Ces caniveaux seront reliés au bassin de décantation par l'intermédiaire d'un bac déshuileur - débourbeur destiné à recueillir les traces d'hydrocarbures qui auraient pu s'échapper accidentellement des organes moteurs de l'appareil de forage. Tous les dispositifs de rétention d'hydrocarbures seront vidangés à fréquence régulière, la fréquence étant augmentée en période de fortes pluies. Un contrôle de la qualité de ce traitement sera effectué périodiquement pour vérifier leur compatibilité avec les contraintes chimiques et minérales du SDAGE.

#### **4.5. Eléments économiques en regard des impacts et des mesures compensatoires**

L'application géothermale prévue présente de nombreux atouts vis-à-vis de solutions alternatives, notamment sur le plan énergétique, sur le plan économique et bien entendu sur le plan environnemental.

Néanmoins, la réalisation d'un nouveau forage profond (à environ 1 770 mètres en profondeur verticale) n'est pas neutre en termes d'impact environnemental durant la période du chantier dont la durée est estimée à 45 jours environ. En cours d'exploitation, le risque principal d'atteinte à l'environnement réside dans l'apparition d'un percement d'un tubage et la mise en communication du forage avec des nappes plus superficielles.

Afin de préserver l'exemplarité environnementale de la géothermie y compris dans la phase travaux, le maître d'ouvrage mettra en œuvre des mesures techniques et organisationnelles visant à réduire ou supprimer l'impact des travaux au voisinage du site.

Les impacts potentiels recensés au cours de cette étude d'impact sont repris dans les tableaux suivants et les mesures compensatoires sont décrites avec une estimation financière des mesures correspondantes.

Sont distinguées en deux parties :

- Les mesures qui seront adoptées en cours de la réalisation du forage
- Celles qui accompagneront l'exploitation du doublet à l'issue des travaux, dès la mise en service industrielle des installations.

Les montants sont exprimés en € HT sur la base d'estimations réalisées en 2015.

#### 4.5.1. Phase travaux de forage

<b>Nuisances aux riverains paragraphes 4.3.9.3 et 4.3.10</b>	
Choix d'une machine de forage électrique afin de réduire l'impact sonore	Sans incidence
Contrôle de la concentration en H <sub>2</sub> S dans l'air ambiant avec dispositif d'alerte	15 000
<b>Gestions des rejets paragraphe 4.3.12</b>	
Evacuation des rejets solides et liquides vers des centres de traitement agréés	360 000
<b>Impacts sur les sols et les eaux paragraphe 4.3.6</b>	
Création de dalles béton destinées à accueillir les équipements et les stockages dont Création de goulotte et de canalisation de drainage des fluides	p.m 20 000
Mise en place d'un bloc obturateur en tête de puits pendant les opérations de forage	20 000
Utilisation de boues à base d'argile naturelle et de polymères biodégradables	330 000
Complétion de la totalité du puits en matériaux composites, Surcoût par rapport à des puits en simple tubage	370 000 20%
<b>Sécurité du chantier et de ses abords partie 5.1</b>	
	Montant en € HT
Mise en place d'une clôture de chantier	p.m.
Mise en place de panneaux d'information et d'une signalisation routière	5 000
Remise en état du site	50 000

#### 4.5.2.

#### Phase exploitation

<b>Sécurité du chantier et de ses abords partie 5.1</b>	
	Montant en € HT
Installation des têtes de puits dans des caves maçonnées	10 000 à l'installation
<b>Impacts sur les sols et les eaux paragraphe 4.3.6</b>	
Mise en place deux vannes sur les têtes de puits (surcoût pour la deuxième vanne)	5 000 à l'installation
Contrôle et remplacement des vannes de fermeture en têtes de puits	5 000 /an
Installation pompes d'inhibiteur de corrosion et de bactéricide asservie au débit	25 000 tous les 25 ans
Produit inhibiteur de corrosion, bactéricides et maintenance du système d'injection	48 000/an
Suivi réglementaire sous-sol	30 000 /an
Réalisation de diagraphies d'inspection et traçage à l'eau douce	15 000 /an
Souscription d'un contrat anti-éruption	3 000 /an
Equipement des puits avec complétion en matériaux composites	Surcoût de 20%

## 5. DOCUMENT DE SÉCURITÉ ET DE SANTÉ

Le délégataire réalisera un Plan de Prévention et de Secours (PPS) pour la période des travaux, puis un PPS spécifique à la phase d'exploitation. Ces documents fixeront les principes et les modalités d'organisation relatives à la sécurité et à la santé en application du Code Minier et du Code du Travail. Le concessionnaire prendra ses dispositions pour organiser la mission de coordination de la sécurité santé sur le site.

Les PPS seront constitués des Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS) de chacune des entreprises intervenant sur le site en phase de travaux ou en phase d'exploitation.

Les PPSPS définiront :

- les intervenants ;
- l'organisation des travaux ;
- l'impact sur l'environnement ;
- les règles de sécurité ;
- l'analyse et la prévention des risques.

Le concessionnaire vérifiera l'existence de ces documents et leur application.

Un exemplaire du Plan de Prévention sera communiqué avant le début des travaux aux administrations concernées.

### 5.1. Document de sécurité et de santé durant les travaux

Les travaux de forage sont soumis au Règlement Général des Industries extractives (décret n°80-331 du 7 mai 1980) et au Règlement de sécurité des travaux de recherche et d'exploitation par sondages des mines d'hydrocarbures liquides ou gazeux (décret n°62-725 du 27 juin 1962).

En outre, l'entité exploitante se doit d'appliquer les dispositions en matière de sécurité et de protection de la santé prises en application de l'article 28 du décret 2006-649 qui stipule :

*« Tout exploitant établit et tient à jour un document de sécurité et de santé dans lequel sont déterminés et évalués les risques auxquels le personnel est susceptible d'être exposé. Ce document précise en outre les mesures prises en ce qui concerne la conception, l'utilisation et l'entretien des lieux de travail et des équipements afin de garantir la sécurité et la santé du personnel. ».*

### 5.2. Sécurité du public

Le terrain concerné par les travaux sera clos et interdit d'accès au public. Préalablement aux travaux, la ville de Bonneuil-Sur-Marne mettra en place des actions d'informations destinées au public et aux riverains. Une réunion publique d'information sur le projet sera organisée de préférence avant l'enquête publique. Le contenu de cette réunion aura pour but de présenter le projet ainsi que les impacts de ce dernier sur la vie des habitants (plan de circulation, bruits, impacts paysagés...).

Lors du déroulement des travaux, le public pourra être exposé à des risques liés principalement :

- à une augmentation du trafic routier plus particulièrement due aux véhicules lourds accédant au chantier ;
- à une augmentation du niveau sonore inhérent aux opérations de forage qui se dérouleront en continu, 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24 ;
- à une production d'eau géothermale avec émanations de gaz ;
- au stockage de produits divers sur la plate-forme ;
- au mât de l'appareil de forage ;
- à l'endommagement de réseaux existants au droit du forage.

Les mesures compensatoires mises en place pour prévenir ces risques sont résumées ci-après.

### *5.2.1. Circulation des véhicules*

#### *5.2.1.1. Accès au chantier*

Des panneaux routiers de chantier informeront les usagers de la route de la sortie d'engins de chantier.

Le stationnement des véhicules aux abords du chantier sera contrôlé de manière à ne pas créer d'entrave à la circulation sur les voies d'accès.

Un contrôle des capacités de roulage du chemin d'accès sera effectué par l'entreprise de forage préalablement à l'amenée de l'appareil de forage. Des aménagements pourraient y être réalisés au moment des travaux de génie civil de la plate-forme.

Le raccordement du site à la route sera aménagé de sorte que les conducteurs d'engins puissent manœuvrer sans constituer d'obstacle ou de risque vis-à-vis de la circulation.

#### *5.2.1.2. Importance du trafic en relation avec les travaux*

L'amené et le repli de l'appareil de forage s'effectuera par convoi exceptionnel.

En dehors des phases d'amenée et de repli des équipements de forage, le nombre de véhicules lourds empruntant la voie d'accès à la plate-forme de forage restera limité à l'approvisionnement de consommables (fioul, tubage, ciment...) et à l'évacuation des déchets. Ce trafic, très variable en fonction des phases et de l'avancement du chantier n'excèdera pas, en moyenne, 1 rotation quotidienne de véhicule lourd (15-20 tonnes).

Un trafic de véhicules légers sera induit par les rotations de personnel de l'entreprise de forage et de supervision (10 à 15 rotations par jour).

#### *5.2.1.3. Circulation des véhicules sur la plate-forme*

L'accès du public au chantier sera réglementé et soumis à l'accord préalable du concessionnaire et du Maître d'Œuvre (sauf autorités administratives compétentes forces de police et sapeurs pompiers).

Des véhicules légers dûment habilités pourront être amenés à accéder à la plate-forme. Ils seront soumis à un contrôle d'accès pour éviter l'engorgement de l'espace.

Seuls les engins de manutention spécifiques du chantier et les véhicules de livraison de matériels ou de combustibles seront autorisés à circuler sur l'aire de travail.

Une aire spécifique dans l'enceinte du chantier sera réservée à la manœuvre des véhicules. Cette aire leur permettra de faire demi-tour pour sortir du chantier.

Les engins de manutention seront équipés de dispositifs de sécurité sonores et lumineux.

### *5.2.2. Bruits de chantier*

Le bruit occasionné par le matériel de forage est soumis aux réglementations suivantes :

- réglementation du bruit des matériels et engins de chantier (Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie – Service de l'environnement industriel – Février 1980) ;
- consignes de sécurité forage (Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production en Pétrole et Gaz Naturel).

L'ensemble du personnel appelé à travailler sur le site sera donc amené à respecter les dispositifs de prévention et de protection individuels prévus dans ces textes.

Lors des opérations de forage, l'augmentation du niveau sonore sera due principalement :

- aux moteurs diesel des pompes, des groupes électrogènes, du treuil ... ;
- aux chocs entre les pièces métalliques lors des manipulations et manutentions des tiges de forage au niveau du plancher de travail ou du parc de stockage des tubulaires.

Les équipements utilisés seront insonorisés, notamment les moteurs diesel et les pompes électriques centrifuges (quasi insonores).

Concernant les bruits de manutention, des recommandations spécifiques seront données au personnel afin d'éviter au maximum le choc entre des pièces métalliques.

### *5.2.3. Production d'eau ou de gaz géothermaux*

Pour éviter toute production accidentelle d'eau chaude et/ou de gaz, la tête de puits sera équipée en permanence, pendant les phases de forage de niveaux potentiellement éruptifs, d'obturateurs de sécurité (Bloc d'Obturation de Puits - BOP) permettant une fermeture d'urgence en toutes circonstances.

Dans le cas d'une production de fluide, après avoir fermé l'obturateur annulaire, un piquage latéral placé sur la tête de puits permettra d'injecter sous pression de la boue ou de la saumure de densité appropriée afin de contrôler l'artésianisme du puits.

Par ailleurs, les volumes des bacs à boue seront contrôlés en permanence et des détecteurs de gaz seront installés par la société de forage ou de mud-logging sur le circuit de boue à la sortie du puits (conformément à la législation en vigueur) pour identifier immédiatement toute émanation de gaz.

### *5.2.4. Stockage de produits divers*

Aucun produit toxique ne devra être utilisé sur le chantier. Les fluides de forage ("boues") seront élaborés à partir d'eau douce additionnée de bentonite (argile naturelle) et de polymères biodégradables.

Sur le chantier, les carburants et les huiles seront stockés conformément à la législation en vigueur. Les huiles de vidange des moteurs seront récupérées et évacuées pour être traitées par des organismes spécialisés.

Le fuel sera stocké dans un réservoir aérien, soit équipé d'une double paroi, soit doté d'un bac de rétention en béton de capacité au moins équivalente. Le dépotage s'effectuera par camion citerne selon les besoins du chantier dans le respect des normes de sécurité (sonde de trop-plein, raccords antistatiques et antidéflagrants, rétention...).

### *5.2.5. Accès au site*

#### *5.2.5.1. Accès des personnes non autorisées*

Le chantier sera balisé, clos (grillage ou bardage périphérique de 2 mètres de hauteur) et interdit au public par voie d'affichage (panneaux). L'entrée du chantier sera équipée d'un portail fermé à clé avant l'arrivée du matériel, après son départ et lors des interruptions de travaux.

Compte tenu du fonctionnement continu du chantier et de la présence permanente de personnel et de superviseurs, le risque d'intrusion sera minime.

#### *5.2.5.2. Sécurité des visiteurs autorisés*

Un parking visiteur sera installé à l'extérieur de la plate-forme de travail. Les visiteurs autorisés seront obligatoirement accompagnés par un responsable du chantier (entreprise ou maître d'œuvre) et informés des consignes de sécurité. Ils ne pourront se déplacer que dans les secteurs autorisés.

### *5.2.6. Infrastructures de chantier*

L'appareil de forage peut constituer un obstacle aérien. Il est peint et balisé (éclairage de nuit) conformément aux prescriptions de l'aviation civile.

Pour ce qui concerne la prise au vent du mât de forage, il est à noter selon le site [meteo-paris.com](http://meteo-paris.com) que l'Île de France n'est pas réputée pour être une région très venteuse. Les vents dominants soufflent du sud-ouest (surtout en hiver et en automne). Les vents du nord-est (bise) sont également assez fréquents (notamment en hiver et en été). En revanche les vents ne viennent que très rarement du sud-est. Il ne s'agit bien souvent que de phases très temporaires (avant une perturbation).

La quasi absence de reliefs et la position assez proche des influences maritimes exposent l'Île de France à un certain nombre de phénomènes violents. De fortes rafales de vent peuvent être observées en toutes saisons, notamment au passage de profondes dépressions sur les Îles-britanniques, la Mer du Nord et le Benelux, entre le mois d'octobre et le mois de mars. Les orages peuvent également occasionner de puissantes rafales, notamment en saison chaude. L'Île de France est d'ailleurs l'une des régions où les tornades sont les plus fréquentes car les vastes plaines céréalières favorisent les conflits de masses d'air. On peut par exemple citer la tornade du 10 septembre 1896, celle du 10 juin 1926, du 8 octobre 1929. D'une façon générale, les vents les plus forts ont été mesurés lors de la tempête du 26 décembre 1999.

Le Tableau 35 présente les vitesses de vent mesurées en Île de France et les périodes moyennes de retour.

**Tableau 35 : Vitesse de vent et période moyenne de retour en Ile de France (Source : site internet meteo-paris.com)**

Vitesse du vent	Période moyenne de retour
119 km/h	5 ans
126 km/h	10 ans
140 km/h	25 ans
151 km/h	50 ans

Ces données pourront être utilisées lors de l'étude d'avant projet pour calculer la résistance au vent de la tour de forage (mât et sous-structure).

#### **5.2.7. Protection de la santé du personnel sur le chantier**

Le présent chapitre concerne les dispositions en matière de sécurité et de protection de la santé prises en application de l'article 28 du décret 2006-649 qui stipule :

*«Tout exploitant établit et tient à jour un document de sécurité et de santé dans lequel sont déterminés et évalués les risques auxquels le personnel est susceptible d'être exposé. Ce document précise en outre les mesures prises en ce qui concerne la conception, l'utilisation et l'entretien des lieux de travail et des équipements afin de garantir la sécurité et la santé du personnel. ».*

#### **5.2.8. Mesures et éléments de prévention**

##### **5.2.8.1. Registre de sécurité**

Pendant la totalité des travaux de forage, un registre de sécurité sera tenu à jour et à la disposition de l'Administration.

Les administrations et services suivants seront prévenus de l'existence du chantier et du démarrage des travaux, au moins une semaine avant la date de leur démarrage :

- DRIEE Ile de France ;
- mairie de Bonneuil-sur-Marne ;
- préfecture et sous-préfecture du Val-de-Marne ;
- police et/ou gendarmerie locale ;
- pompiers ;
- services médicaux d'urgence (SAMU ou SMUR) ;
- médecin et pharmacien les plus proches.

Le registre de sécurité comprend les notices d'utilisation des engins présents sur le chantier avec leurs certificats de conformité et leurs rapports de révision.

### 5.2.8.2. *Consignes de sécurité*

Une information sur les règles de sécurité habituelles, devant se dérouler pendant les horaires de travail, sera dispensée par le chef de chantier forage ou le superviseur de forage. Cette formation sera notamment obligatoire pour le personnel suivant :

- les salariés venant d'être embauchés ;
- les salariés changeant de poste ;
- les salariés changeant de technique ;
- les travailleurs temporaires auxquels l'entreprise aura éventuellement fait appel ;
- les salariés prenant leurs activités après un arrêt de plus de 21 jours.

Ces informations porteront entre autres sur les consignes de sécurité ci-après :

- consignes en cas d'incendie ;
- consignes en cas de venue ou de perte du fluide de forage ;
- consignes en cas d'accident grave ;
- consignes en cas de présence de sulfure d'hydrogène ;
- consignes pour les essais des obturateurs du puits.

Le port du harnais sera obligatoire pour les travaux en hauteur (sur le mât des engins) et il sera interdit à toute personne non autorisée par le superviseur de forage ou le chef de chantier de se servir d'un véhicule ou d'un appareil de levage dans l'enceinte du chantier.

Lors de la circulation sur la plate-forme et la voie d'accès, la réglementation routière devra être respectée et la vitesse réduite afin de limiter les risques d'accident et les nuisances pour les riverains et les autres usagers (visibilité réduite, bruits, poussière...).

L'affichage des consignes de sécurité s'adressera en priorité au personnel présent sur le site.

Les documents suivants seront affichés dans le bureau du Chef de chantier :

- un plan de masse de l'appareil de forage ;
- le plan des têtes de puits ;
- la pression maximale admissible dans l'espace annulaire ;
- la pression maximale de refoulement des pompes de forage selon les diamètres des chemises ;
- un plan des moyens de lutte contre l'incendie ;
- la liste des noms des personnes et des services à contacter en cas d'accident :
  - les pompiers ;
  - les services médicaux d'urgence (SAMU ou SMUR) ;
  - le Préfet ;
  - la DRIEE ;
  - les services du concessionnaire ;
  - les services de l'Entrepreneur.
- un plan des issues de sécurité en cas de venue de sulfure d'hydrogène.

Un affichage spécifique sera mis en place pour interdire l'accès du site aux personnes non autorisées ainsi que pour informer la population sur la durée et l'objet des travaux.

Conformément à l'article 33 du titre « Forage » du Règlement Général des Industries Extractives (RGIE), au moins un titulaire d'un brevet de secourisme sera présent sur le chantier de forage pendant toutes les périodes d'activité.

#### *5.2.9. Protection contre l'incendie*

Le chantier sera doté du matériel destiné à pouvoir lutter rapidement et efficacement contre tout début d'incendie. L'entretien de ce matériel sera assuré par une entreprise agréée ou par un agent spécialisé du Service Sécurité de l'Entrepreneur de forage. On trouvera notamment :

- des extincteurs à poudre polyvalente ;
- des extincteurs à poudre de carbone ;
- une couverture anti-feu.

Les emplacements désignés pour ce matériel seront maintenus d'un accès facile et bien signalés.

Une aire de stockage, avec des bacs de rétention pour les produits inflammables sera délimitée en un lieu sûr, avec une signalisation appropriée et en particulier l'interdiction de fumer à proximité.

Les Pompiers de Paris interviendront selon leurs procédures.

#### *5.2.10. Protection contre le sulfure d'hydrogène*

##### *5.2.10.1. Risque – H<sub>2</sub>S*

Le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) présente 2 risques pour l'homme (Cf. Fiche sécurité en Annexe 8) :

- incendie : gaz extrêmement inflammable ; les limites d'explosivité en % de volume dans l'air sont : limite inférieure 4, limite supérieure 6 ; si nécessaire, les Pompiers de Paris interviendront selon leurs procédures ;
- pathologie : les effets observés sont principalement liés aux propriétés irritantes et anoxiantes de ce gaz.

Ce gaz étant soluble dans l'eau, le fait de travailler à la boue limite les émanations lorsque le gaz est en faible concentration, ce qui est le cas dans l'eau du Dogger. D'autre part, le sulfure d'hydrogène en milieu basique (pH>8) reste dissous dans la boue et, sauf venue d'eau géothermale importante, le pH de la boue sera toujours supérieur à 8 pendant les phases de forage.

##### *5.2.10.2. Mesures de prévention*

Un appareil de détection en continu du sulfure d'hydrogène comprenant au moins 3 capteurs fixes reliés à des alarmes sonores et visuelles sera installé en tenant compte de la configuration des lieux et de la zone spécifique de danger définie par les articles RG29 et RG30 du règlement général des industries

extractives. Le seuil d'alarme sera réglé sur 10 ppm. Deux appareils portatifs seront également disponibles sur le chantier.

Un minimum de 5 masques à gaz individuels munis de cartouches filtres pour le sulfure d'hydrogène seront disponibles en permanence.

Deux appareils respiratoires autonomes avec bouteille de recharge seront à la disposition du personnel.

Une manche à air sera mise en place en un lieu visible de tous les points du chantier.

Au cas où un bouchon gazeux se manifesterait, le puits serait immédiatement fermé (obturateur) et la société de forage procéderait à une évacuation contrôlée du bouchon à très faible débit.

Au cours de la période des travaux de forage, des émanations d'hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ) pourront se produire au cours des tests de production réalisés à la fin de chaque puits. Lors de ces tests le fluide géothermal est en effet produit en surface sur une durée comprise entre 24 et 48 heures. Afin de réduire les nuisances olfactives de l' $H_2S$  (odeur « d'œufs pourris » à faible concentration dès 1 ppm) et de supprimer les risques liés à la toxicité du gaz à partir de concentrations plus élevées (100 ppm) lors des opérations de stimulation du réservoir par injection d'acide, une chaîne de neutralisation de l' $H_2S$ , exigée dans le cadre de l'arrêté préfectoral relatif à l'autorisation d'ouverture des travaux, sera mise en place (neutralisation de l' $H_2S$  par injection d'un oxydant puissant, type Eau de Javel ou équivalent). Elle comportera la mise en place de ventilateurs aux endroits où le fluide géothermal arrivera en surface (plancher et bacs de l'appareil de forage). Cette aération constante du site pendant cette phase permettra d'orienter les gaz à l'opposé des habitations les plus proches et empêchera toute concentration du gaz.

Le personnel et les riverains seront informés au début des travaux des risques afférents au sulfure d'hydrogène et à la conduite à tenir en cas d'éruption de vapeur d'eau ou de sulfure d'hydrogène.

Un secouriste titulaire d'une attestation de secouriste du premier degré sera présent sur chaque atelier de forage ; il y en aura si possible un par équipe.

Le chantier sera muni d'une trousse de secours.

#### **5.2.11. Documents à présenter dans le cadre de travaux de maintenance**

Sont concernées ici, les interventions que l'exploitant et/ou le délégataire est susceptible de faire réaliser sur les puits sous la supervision d'un maître d'œuvre, à savoir :

- Le relevage et le remplacement du groupe de pompage immergé ;
- Le relevage et le remplacement du système de traitement de fond de puits ;
- Les diagraphies différées d'inspection réglementaires ;
- les travaux (*workover*) de réparation/réhabilitation des puits.

A cette occasion, pour compléter le Plan de Prévention, un document de sécurité spécifique sera établi par l'entrepreneur en charge des travaux décrivant le programme technique et l'ensemble des mesures et des moyens mis en œuvre pour assurer la sécurité des biens et des personnes pendant la phase d'intervention (PPSPS).

### 5.3. Document de sécurité et de santé durant l'exploitation d'un gîte géothermal

Il est rappelé que dans le cadre de son contrat l'exploitant est tenu de respecter ou de faire respecter l'ensemble des consignes d'exploitation, ainsi que l'entretien et la maintenance des matériels qui lui sont confiés.

L'exploitant veillera plus particulièrement au bon fonctionnement des organes d'isolement et de sécurité du site.

#### 5.3.1. Étude du scénario de fuite par percement d'un cuvelage en exploitation

##### 5.3.1.1. Risque maximal de fuite

Le risque maximal consiste en une perforation du tubage au niveau d'un aquifère capable d'absorber, pour le puits producteur, le débit artésien et, pour les puits injecteurs, le débit maximum d'exploitation.

Cela représente actuellement un débit de fuite maximum théorique de l'ordre de 250 m<sup>3</sup>/h sur le puits producteur et de 250 m<sup>3</sup>/h sur le puits injecteur. Cependant, une telle fuite sur le puits injecteur entraînerait un arrêt immédiat de l'exploitation et la fuite se limiterait alors au débit artésien du puits soit 150 m<sup>3</sup>/h théorique.

##### 5.3.1.2. Procédure mise en place en cas de fuite

En cas de suspicion de fuite sur le puits producteur, les cotes et débit de fuite seront déterminés par traçage chimique.

En cas de fuite sur le casing 13"3/8, il faut procéder à l'extraction du tubage 9"5/8 en fibre avant de pouvoir intervenir sur le casing 13"3/8. Le casing 13"3/8 est ensuite nettoyé, contrôlé par diagraphies de diamètre et de cimentation puis un programme de recherche de fuite est mis en oeuvre (tests packer, flotmétrie, conductimétrie, ...). Après bouchage de la fuite par un bouchon de ciment, un nouveau tubage 9"5/8 en fibre est descendu dans le puits producteur. L'absence de circulation d'eau géothermale dans l'espace annulaire, l'inhibition chimique et le contrôle de sa pression pendant l'exploitation permet de s'affranchir du rechemisage dans un diamètre plus petit qui occasionnerait une réduction importante du diamètre du tubing en fibre et donc une baisse de débit d'exploitation.

En cas de fuite sur le puits injecteur, l'exploitation du doublet est arrêtée et un bouchon de type bridge plug (BP) est mis en place sous la fuite dans un délai de 72 heures. La fuite se trouve donc isolée pendant la préparation des travaux de réparation.

##### 5.3.1.3. Analyse des risques de fuite

Les risques de fuite d'eau géothermale dans les nappes d'eau rencontrées sur les 500 mètres supérieurs (nappes du Lutécien, du Sparnacien et de la Craie) sont très faibles car :

- Le puits producteur fera l'objet d'une complétion en matériaux composites
- Il n'existe pas de risque de remontée du réservoir du Dogger vers la surface en raison des nombreuses couches géologiques (plus de 1000 m vertical) imperméables qui les séparent. De plus, les tubages sont isolés des couches géologiques par une cimentation de l'annulaire tubages/formation contrôlée par diagraphies CBL-VDL, prévenant toute remontée du Dogger par canalisation channeling (remontées d'eau du Dogger dans l'annulaire tubages/roche en cas de mauvaise cimentation défectueuse).

En ce qui concerne les risques de communication avec l'Albien/Néocomien, on peut estimer que :

- Le puits injecteur est complété en double tubage 16"x 10"<sup>3/4</sup> jusque plus de 100 mètres sous l'horizon le plus profond du Néocomien et le puits producteur sera composé d'un tube de soutènement en acier cimenté et une complétion en matériaux composites.
- La surveillance de la corrosion interne des tubages réduisent très fortement le risque de percement du tubage.

L'épaisseur des couches imperméables (850 m verticaux) entre le Dogger et l'Albien, ainsi qu'une cimentation des tubages de soutènement des ouvrages, prévient tout risque de contamination de l'Albien/Néocomien par le fluide géothermal.

#### *5.3.1.4. Mesures préventives pour limiter les risques de fuite*

##### *Suivi hydrodynamique des puits*

Le suivi et l'enregistrement journalier par l'exploitant des paramètres de la production et de l'injection permettent d'identifier les premiers indices d'apparition d'une fuite, notamment :

- les pressions, débits et températures,
- les caractéristiques des puits, Pression = f(Débit),
- les caractéristiques des pompes, HMT = f(Débit),
- les paramètres électriques (V, I, f, cosφ ...),
- les puissances absorbées et les rendements des pompes.

Ces résultats sont inclus dans les rapports de suivi trimestriels transmis à la DRIEE.

##### *Contrôle quotidien de la pression de l'espace annulaire*

Une sonde de pression placée sur l'annulaire, permet d'effectuer l'enregistrement des valeurs 24h/24h. Ces enregistrements sont consignés sur un ordinateur dédié au contrôle des pressions, débit et températures des puits.

Chaque jour, matin et soir, un technicien relève la valeur de la pression pour la détection d'une éventuelle anomalie.

Une fois par semaine, les valeurs enregistrées sur l'ordinateur sont imprimées sous forme de graphique et sont soumises à de nouveaux contrôles.

En cas de détection d'une anomalie lors de ces mesures, un contrôle de l'espace annulaire par traçage sera réalisé.

Ces contrôles sont poursuivis, à la même fréquence, en cas d'arrêt du doublet.

#### *5.3.1.5. Suivi réglementaire sous-sol*

Le suivi sous-sol réalisé contractuellement par une entreprise qualifiée a pour but de prévenir et réduire les possibilités de contamination des eaux superficielles et souterraines.

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques du fluide géothermal permettent de prévenir toute variation du comportement thermo-chimique du fluide de nature à amplifier les phénomènes de corrosion.

Les mesures directes de corrosion sur coupons témoins immergés dans l'eau géothermale, réalisées à périodicité trimestrielle, permettent de suivre l'évolution des phénomènes.

Le suivi des caractéristiques des ouvrages producteur et injecteur (productivité/injectivité) permet de déceler l'apparition d'une fuite en dessous du niveau du sol.

#### *5.3.1.6. Traitement anti-corrosion*

Un produit inhibiteur de corrosion ainsi qu'un bactéricide sont respectivement injectés depuis la surface au niveau de la tête de puits de production et dans l'annulaire, ils protègent l'ensemble des conduites et installations de surface ainsi que le puits injecteur contre la corrosion. Le puits producteur GBL-4 ne sera pas traité du fait de sa complétion en fibre composites qui n'est pas sujette à la corrosion. Le produit inhibiteur utilisé peut-être du type MMC 7300 d'AQUAPROX espacés de volumes de 3 m<sup>3</sup> d'eau douce adoucie. Le traitement est réalisé selon le protocole suivant :

- toutes les semaines : injection d'un volume de 1,5 m<sup>3</sup> d'eau douce adoucie,
- toutes les deux semaines : injection d'un volume de 10 kg de bactéricide similaire au produit Aquaprox TM7701.

En cas d'arrêt du doublet, l'injection de biocide dans l'espace annulaire est poursuivie.

#### *Contrôle de l'état interne des tubages*

Un contrôle direct des tubages est effectué règlementairement tous les 3 ans sur le puits injecteur par diagraphies différées aux fins de contrôle de l'état de surface ainsi que de l'épaisseur des tubages. Ces mesures permettent de calculer la vitesse de dégradation des tubages et d'anticiper les opérations de rechemisage éventuelles (installation d'un tubage de plus petit diamètre dans un tubage existant endommagé).

Un contrôle de l'état du tubage du nouveau puits de production GBL-4 sera réalisé, tous les 5 ans, par traçage à l'eau douce dans l'annulaire, entre les tubages 13"3/8 acier et 9"5/8 composite. L'opération se déroule comme suit (cf. Figure 71) :

- Arrêt du traitement inhibiteur (puits en fonctionnement)
- Rinçage de l'espace annulaire par injection de 80 m<sup>3</sup> d'eau douce (ou eau adoucie) (puits en fonctionnement)
- Injection de 80 m<sup>3</sup> de traceur en excès (eau adoucie), (puits en fonctionnement)
- Arrêt du doublet, attente 48h pour permettre l'échappement éventuel du traceur vers la formation si le tubage 13"3/8 présente une fuite (1 sur le schéma)
- Mise en production du puits (24h), pour permettre l'échappement éventuel du traceur vers l'intérieur du tubage 9"5/8 s'il y a une fuite (2 sur le schéma)
- Arrêt de la production
- Dégorgement de l'espace annulaire à débit maîtrisé (# 10 m<sup>3</sup>/h)
- Prélèvement d'échantillon à intervalles réguliers (1/m<sup>3</sup>) et mesure in situ de la conductivité
- Comparaison entre le volume théorique de l'espace annulaire et le volume final récupéré.

En cas d'anomalie constatée lors du traçage, un deuxième contrôle par traçage est réalisé afin de déterminer le tubage fuyard, d'affiner la cote et le débit de la fuite.

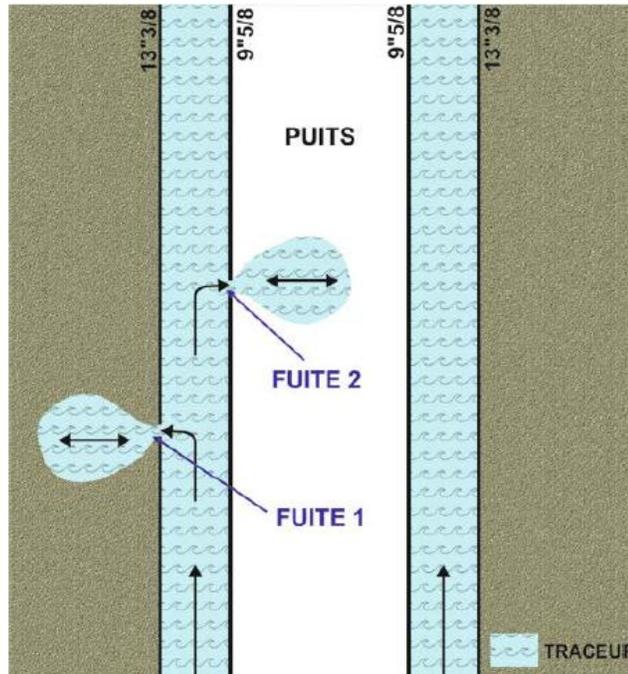


Figure 71 : schéma du contrôle du puits de production par traçage à l'eau douce

#### Travaux d'entretien des puits

Les travaux de nettoyage des puits réalisés tous les 10 ans en moyenne permettent d'éliminer les dépôts qui se sont formés sur les tubages et qui peuvent « cacher » des endommagements. Lors de ces travaux des tests complémentaires aux diagraphies décrites ci-dessus peuvent être réalisés :

Test sous pression

#### Débitmétrie

Une plateforme d'environ 1500 m<sup>2</sup> sera maintenue autours des têtes de puits permettant les interventions lourdes sur les ouvrages.

#### 5.3.1.7. Mesures correctives en cas de fuite

En cas de fuite sur le tubage 9<sup>5/8</sup> en fibre de verre, celui-ci, installé en suspension sur la tête de puits, est remonté. Le casing acier 13<sup>3/8</sup> est alors contrôlé par diagraphie de diamétrage et de cimentation afin de vérifier son intégrité. Un nouveau tubing 9<sup>5/8</sup> en fibre est ensuite descendu dans le puits producteur.

En cas de fuite sur le casing 13<sup>3/8</sup>, il faut procéder à l'extraction du tubage 9<sup>5/8</sup> en fibre avant de pouvoir intervenir sur le casing 13<sup>3/8</sup>. Le casing 13<sup>3/8</sup> est ensuite nettoyé, contrôlé par diagraphies de diamétrage et de cimentation puis un programme de recherche de fuite est mis en oeuvre (tests packer, flotmétrie, conductimétrie, ...).

La réparation peut alors être effectuée par un *casing patch*. Après bouchage de la fuite par un bouchon de ciment, un nouveau tubage 9<sup>5/8</sup> en fibre est descendu dans le puits producteur. L'absence de circulation d'eau géothermale dans l'espace annulaire, l'inhibition chimique et le contrôle de sa pression pendant l'exploitation permet de s'affranchir du rechemisage dans un diamètre plus petit qui occasionnerait une réduction importante du diamètre du tubing en fibre et donc une baisse de débit d'exploitation.

#### *5.3.1.8 Mesures de sécurité en cas de fuite.00*

Elles seront gérées par le contrat anti-éruption souscrit par le demandeur.

#### *5.3.2. Mesures prises pour protéger la population riveraine des odeurs liées aux émanations d'H<sub>2</sub>S*

Les émanations de H<sub>2</sub>S concernent le personnel de chantier directement exposé, mais également, à des concentrations très faibles, de l'ordre du ppm (on rappelle qu'à des teneurs élevées les émanations, inodores, sont létales) les riverains.

Vis-à-vis du risque H<sub>2</sub>S les dispositions et consignes de chantier sont précises et rigoureuses installation de capteurs aux emplacements stratégiques – planchers, pompes, bacs, flowline- reliés à une centrale, réglage des alarmes visuelles (gyrophare) et sonore (klaxon) aux seuils de 5 et 10 ppm, port de masques et de bouteilles d'oxygène (assistance respiratoire) en tant que de besoin, port de capteurs en sautoir par le personnel d'encadrement (chef de chantier, chef de poste, intendant).

Les émanations les plus importantes sont liées aux phases de dégorgeement artésien et/ou air lift lors des essais, en particulier au terme des phases de stimulation acide du réservoir en fin de forage/complétion. Elles seront effectuées suivant des horaires appropriés, de préférence la nuit, et seront précédées obligatoirement d'un briefing du personnel.

D'autre part, en vue d'atténuer sinon d'éradiquer les odeurs, il sera procédé à l'injection d'hypochlorite de soude.

Ces dispositions, au demeurant, procèdent d'une pratique courante par la profession, tout particulièrement lors des opérations de workover. En outre, l'opération de Bonneuil-sur-Marne fera appel à un personnel expérimenté en la matière, l'essentiel de ses activités concernant le forage pétrolier, singulièrement plus dangereux s'agissant d'émanations toxiques et inflammables.

#### *5.3.3. Documents à présenter dans le cadre de travaux de maintenance*

Sont concernées ici, les interventions que l'exploitant ou le concessionnaire est susceptible de faire réaliser sur les puits sous la supervision d'un maître d'œuvre, à savoir :

- les manœuvres de remplacement du groupe de pompage immergé ;
- les manœuvres de remplacement du système de traitement de fond de puits ;
- les enregistrements des diagraphies ;
- les travaux de maintenance ou de réparation du puits (*workover*).

A cette occasion pour compléter le Plan de Prévention, un document de sécurité spécifique sera établi par l'entrepreneur en charge des travaux décrivant le programme technique et l'ensemble des mesures et des moyens mis en œuvre pour assurer la sécurité des biens et des personnes pendant la phase d'intervention (PPSPS).

