

CHATENAY-MALABRY (92)
Demande d'autorisation de recherche d'un gîte géothermique à
basse température au Lusitanien
Demande d'autorisation d'ouverture de travaux de forage

Rapport N°19CFG91 /VA
Avril 2020



Compagnie Française de Géothermie

3, Avenue Claude Guillemin – B.P. 46429
45064 ORLEANS CEDEX 2 France

Tél.: 02 38 64 31 22 - Fax: 02 38 64 32 83
contact@cfgrservices.fr - www.cfgrservices.fr

RCS Orléans 444 572 044 – SIRET 444 572 044 00014

QUALITE

Numéro affaire : TUC 18 156
Numéro de rapport : 19 CFG 91

Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom : Gille Anne-Lise	Nom : Chouet Pierre	Nom : Beddelem Marie-Hélène
Date : 14/04/2020	Date : 14/04/2020	Date : 14/04/2020
Signature	Signature	Signature
P.O		

REVISION

Version	Date	Modification
A	14/04/2020	Document d'origine
B		
C		
D		
E		

CLIENT

Nom : FLOWERGY A l'attention de B-L MARTIN
Adresse : 3/7 Place de l'Europe 78140 Vélizy-Villacoublay France

DIFFUSION

DRIEE Ile de France
Préfecture des Hauts de Seine (92)
EIFFAGE
CFG

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

GILLE AL. (2020) – Demande d'autorisation de recherche d'un gîte géothermique à basse température au Lusitanien et d'ouverture de travaux de forage à Chatenay-Malabry. Rap. 19CFG91/VA

SOMMAIRE

RESUME NON TECHNIQUE	15
1 INFORMATIONS GENERALES	41
1.1 Justification de la demande de projet de géothermie profonde à Chatenay-Malabry	41
1.1.1 Contexte énergétique et choix du type d'énergie renouvelable	41
1.1.2 Contexte territorial et objet de la demande	43
1.1.3 Contenu du dossier	47
1.1.4 Pertinence du projet au stade de l'étude de faisabilité	48
1.2 Qualité du demandeur	50
1.2.1 Fiche d'identité du demandeur	50
1.2.2 Justification des capacités techniques et financières	51
1.3 Contexte et description du projet de valorisation de la ressource	52
1.3.1 Généralités	52
1.3.2 Description sommaire de l'opération de géothermie projetée	53
1.4 Budget prévisionnel et plan de financement du projet	56
1.4.1 Coûts d'investissement sous-sol	56
1.4.2 Identification des risques de variation des coûts	57
1.4.3 Coûts d'exploitation du doublet géothermal	57
1.4.4 Coût général de l'opération	58
1.5 Financement du projet, subventions et garanties	58
1.5.1 Organisation du projet	58
1.5.2 Financement du projet	59
1.5.3 Subventions à la réalisation – Fonds Chaleur	59
1.5.4 Fonds de garantie géothermie	61
1.5.5 Planning prévisionnel du projet	62
1.6 Conditions réglementaires d'accès à la ressource	62
1.6.1 Permis de recherche minier et permis d'exploitation	63
1.6.2 Demande d'ouverture de travaux miniers	64
1.6.3 Permis d'exploitation existants et périmètres concernés	65
1.6.4 Durée relative à la demande formulée	67
1.6.5 Permis d'exploitation envisagés suite à la recherche	67
1.6.6 Contraintes SDAGE Seine-Normandie et protection de l'aquifère de l'Albien/Néocomien	68
1.7 Identification des risques et contraintes techniques et organisationnelles applicables au projet	70
1.7.1 Les contraintes techniques et réglementaires	70
1.7.2 Les contraintes d'organisation et de planification	77
1.7.3 Les contraintes de chantier	77
2 DEMANDE D'AUTORISATION DE RECHERCHE D'UN GITE GEOTHERMIQUE A BASSE TEMPERATURE AU LUSITANIEN	81
2.1 Localisation du secteur d'étude	81
2.2 Réseau de chaleur de surface	83

2.2.1	Un réseau de chaleur privé	83
2.2.2	Caractéristiques du réseau de chaleur planifié	83
2.3	Caractéristiques de l'horizon géologique ciblé	90
2.3.1	Contexte géologique global.....	90
2.3.2	Contexte géologique du secteur d'étude.....	91
2.3.3	Lithologie de l'aquifère du Lusitanien	95
2.3.4	Contexte hydrogéologique du Dogger	95
2.3.5	Qualité de l'eau géothermale.....	99
2.4	Caractérisation de la ressource géothermale au Néocomien	99
2.4.1	Lithologie de l'aquifère du Néocomien	99
2.4.2	Caractéristiques prévisionnelles du Néocomien dans le secteur d'étude	100
2.4.3	Qualité du fluide géothermal	101
2.5	Caractéristiques hydrogéologiques principales du projet.....	102
2.6	Modélisation numérique du réservoir	104
2.6.1	Modélisation du nouveau doublet au Lusitanien.....	104
2.6.2	Conclusions de la modélisation numérique au Lusitanien	110
2.6.3	Modélisation de la solution de repli au Néocomien	111
2.6.4	Conclusions de la modélisation numérique au Néocomien	116
2.7	Permis envisagés pour le projet au Lusitanien	117
2.7.1	Coordonnées des puits.....	117
2.7.2	Définition du périmètre et volume d'exploitation	117
2.7.3	Caractéristiques d'exploitation prévisionnelles	118
2.7.4	Définition du périmètre du permis de recherche sollicité	119
2.8	Permis envisagés pour la solution de repli au Néocomien	120
2.8.1	Coordonnées des puits.....	120
2.8.2	Définition du périmètre et volume d'exploitation	121
2.8.3	Caractéristiques d'exploitation prévisionnelles	121
2.8.4	Définition du périmètre du permis de recherche sollicité	122
2.8.5	Périmètre de protection.....	123
2.9	Dispositif de mobilisation de la ressource.....	124
2.9.1	Généralités	124
2.9.2	Description sommaire des ouvrages au Lusitanien.....	125
2.9.3	Description des ouvrages en cas de repli au Néocomien.....	128
2.9.4	Description et fonctionnement de la boucle géothermale	132
2.9.5	Contraintes liées au fluide du Lusitanien	138
2.9.6	Contraintes liées au fluide du Néocomien	140
2.9.7	Contrôles périodiques et suivi d'exploitation au Lusitanien	141
2.9.8	Suivi des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau géothermale au Lusitanien	143
2.9.9	Suivi des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau géothermale au Néocomien	144
2.9.10	Suivi de l'état des tubages.....	147
2.10	Conditions d'arrêt d'exploitation du gîte géothermique	147
2.10.1	Définition des conditions d'arrêt de l'exploitation	147
2.10.2	Procédure d'abandon des puits	148
2.10.3	Protection des aquifères superficiels	148

2.11	Résumé de l'étude d'impact sur l'environnement	149
3	DEMANDE D'AUTORISATION D'OUVERTURE DE TRAVAUX DE FORAGE.....	161
3.1	Mémoire exposant les caractéristiques principales des travaux prévus.....	161
3.1.1	Fiche résumé des travaux prévus.....	161
3.1.2	Implantation du forage	161
3.1.3	Travaux d'aménagement pour la réalisation des puits	165
3.1.4	Travaux de forage.....	168
3.1.5	Remise en état du site.....	176
3.1.6	Courbes caractéristiques prévisionnelles et dimensionnement des moyens de pompage	177
3.1.7	Descriptif des équipements constitutifs de la boucle géothermale.....	183
3.2	Exposé des méthodes de forage envisagées	186
3.2.1	Principe et méthodologie des travaux de forage	186
3.2.2	Matériel mis en œuvre pour les travaux de forage.....	189
3.2.3	Organisation générale du chantier.....	190
4	ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT	193
4.1	Auteurs de l'étude d'impact et références bibliographiques.....	195
4.2	Conception et dimension du projet.....	196
4.2.1	Justification du projet.....	196
4.2.2	Principe du projet.....	196
4.3	Analyse de l'état initial et des milieux susceptibles d'être affectés par le projet	197
4.3.1	Contexte géographique et topographique.....	197
4.3.2	Réseau hydrographique	199
4.3.3	Contexte climatique	202
4.3.4	Histoire de l'évolution urbaine.....	204
4.3.5	Contexte administratif et intercommunalité	205
4.3.6	Monuments classés	217
4.3.7	Les espaces verts.....	219
4.3.8	Situation et description du site d'implantation du projet de Chatenay.....	220
4.3.9	Propriétés foncières	223
4.3.10	Projets situés à proximité du site	224
4.3.11	Equipements et habitations situés à proximité du site.....	226
4.3.12	Inventaire du Patrimoine Naturel	229
4.3.13	Qualité de l'air	249
4.3.14	Environnement sonore.....	252
4.3.15	Urbanismes et servitudes.....	258
4.3.16	Servitudes au titre du Code Minier	267
4.3.17	Risques industriels et naturels	268
4.4	Analyse des effets du projet sur l'environnement.....	278
4.4.1	Effets sur le contexte socio-économique de la ville.....	278
4.4.2	Effets sur la circulation et les infrastructures.....	278
4.4.3	Effets sur la sécurité des personnes.....	281
4.4.4	Effets sur le paysage, la faune et la flore	282
4.4.5	Effets sur le sol et les eaux de surface	288
4.4.6	Effets sur la géologie et les aquifères profonds	289
4.4.7	Effets visuels.....	289

4.4.8	Effets sur la qualité de l'air.....	291
4.4.9	Nuisances sonores.....	292
4.4.10	Effets sur les réseaux existants	301
4.4.11	Effets du projet et adéquation avec la protection du patrimoine	306
4.4.12	Effets des déchets et la propreté du site	306
4.4.13	Effets sur le Patrimoine naturel	310
4.4.14	Effets du projet sur la santé humaine, l'hygiène, la sécurité et la salubrité publique	311
4.4.15	Effets des travaux et de l'exploitation sur les ressources en eau	314
4.5	Mesures compensatoires destinées à supprimer, atténuer ou compenser les effets négatifs	344
5	ANALYSE DES EFFETS CUMULES DU PROJET AVEC D'AUTRES PROJETS CONNUS.....	351
5.1	Projets d'urbanisation sur la commune de Chatenay-Malabry.....	351
5.1.1	Les orientations de la ville.....	351
5.1.2	La ZAC La Vallée.....	353
5.1.3	La Coulée Verte	355
5.1.4	La ligne 10 du tramway	357
5.1.5	Le quartier Europe.....	359
5.1.6	Le quartier Business Parc	360
5.1.7	La ZAC Jean Zay	361
5.2	Les mesures à prendre	363
6	DOCUMENT DE SECURITE ET SANTE	365
6.1	Document de sécurité et de santé durant les travaux.....	365
6.1.1	Sécurité du public.....	365
6.1.2	Protection de la santé du personnel sur le chantier	370
6.2	Document de sécurité et de santé durant l'exploitation d'un gîte géothermal	373
6.2.1	Etude du scénario de fuite par percement d'un cuvelage en exploitation	374
6.2.2	Mesures de sécurité en cas de fuite.....	375
6.2.3	Mesures prises pour protéger la population riveraine des odeurs liées aux émanations d'H ₂ S.	376
6.2.4	Documents à présenter dans le cadre de travaux de maintenance.....	377
7	ANNEXES.....	379
7.1	Présentation de Flowergy Chatenay-Malabry et du montage juridique du dossier	379
7.2	Extrait KBIS Flowergy Chatenay-Malabry	379
7.3	Présentation de CFG	379
7.4	Présentation d'Eiffage Energie Systèmes	379
7.5	Planning général du projet.....	379
7.6	Convention et acte de propriétés de la SEMOP.....	379
7.7	Dossier Loi sur l'eau de la ZAC La Vallée.....	379
7.8	Carnet de compensation de la zone humide	379

7.9	Descriptions des ZNIEFF et zone NATURA 2000.....	379
7.10	Réponse ARS sur la liste des captages AEP.....	379
7.11	Fiche toxicologique de l'hydrogène Sulfuré	379
7.12	Arrêté préfectoral DCPAT n°2019 -21 en date du 25 février 2019 de la ZAC.....	379
7.13	Prescription architecturales ZAC dont réseau eau pluviale	379
7.14	Etude d'impact de la ZAC de Chatenay-Malabry, Even Conseil ,2018	379
7.15	Avis de l'autorité environnementale sur l'étude d'impact de la ZAC de Chatenay-Malabry	379

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Projet d'aménagement de la ZAC La Vallée	17
Figure 2: Secteur d'étude sur vues aériennes avec limites administratives	18
Figure 3 : Site d'implantation des chantiers de forage et parcelles cadastrales	19
Figure 4: Design du doublet et schéma de la boucle géothermale	20
Figure 5: Localisation du permis de recherche projeté.....	21
Figure 6 : Implantation de la machine de forage et de ses annexes pour le forage de production ainsi que la zone de sécurité pour le servicing du puits.....	23
Figure 7 : Implantation de la machine de forage et de ses annexes pour le forage d'injection ainsi que la zone de sécurité pour le servicing du puits	24
Figure 8: Champ prévisionnel de températures pour l'horizon fin 2052 (débit maximal et température de réinjection minimale)	25
Figure 9 : Coupe technique prévisionnelle du puits de production GCTM-3	27
Figure 10 : Coupe technique prévisionnelle du puits d'injection GCTM-4.....	28
Figure 11: Etat du site en juillet 2019	30
Figure 12: Plan de masse de la ZAC après aménagement (A), OAP de la ZAC dans le PLU (B)	31
Figure 13: Zones naturelles ZNIEFF dans le secteur d'étude	32
Figure 14: Patrimoine remarquable et Bois Classés de la commune (PLU Châtenay-Malabry).....	33
Figure 15: Synthèse et hiérarchisation des enjeux écologiques sur la ZAC (Etude d'impact, Even Conseil, Avril 2018)	33
Figure 16: Zone de compensation écologique pour la destruction de la zone humide (Etude d'impact ZAC, Even Conseil, Avril 2018)	34
Figure 17: Rose des bruits des forages (points) avec la carte des relevés de bruit Indice Lden (PLU).....	37
Figure 18 : Aide à la décision pour le recours aux énergies de récupération et renouvelables.....	42
Figure 19 : Aménagement de la ZAC La Vallée projeté	44
Figure 20: Secteur d'étude de Châtenay-Malabry sur vues aériennes avec limites administratives.....	46
Figure 21 : Logigramme du projet géothermie au Lusitanien avec repli au Néocomien	49
Figure 22: Localisation des sites de forage sur la commune de Châtenay-Malabry	53
Figure 23: Plan de l'opération de géothermie projetée dans la ZAC La Vallée	54
Figure 24: Plan du réseau de chaleur projeté sur la ZAC	55
Figure 25: Organigramme du projet de géothermie de la ZAC Châtenay-Malabry	58
Figure 26: Permis de recherche et d'exploitation prévisionnels du dispositif au Lusitanien	66
Figure 27 : Permis de recherche et d'exploitation prévisionnels du dispositif de repli au Néocomien	67
Figure 28: Périmètre du bassin Seine-Normandie (site DRIEE Ile de France)	69
Figure 29: Emprises des zones chantier des forages en sur le cadastre en vigueur	71
Figure 30 : Emprise de la zone de maintenance-abandon du puits injecteur.....	72
Figure 31 : Emprise de la zone de maintenance légère et exemple de travaux de maintenance légère (Fond autocad) au niveau du puits producteur.....	73
Figure 32: Phasage de livraison des différents lots de la ZAC	79
Figure 33 : Localisation du secteur d'étude	81
Figure 34: Localisation des parcelles cadastrales du secteur d'étude	81
Figure 35 : Localisation des futures têtes de puits du doublet	82
Figure 36: Réseau de chaleur planifié sur la ZAC La Vallée	84
Figure 37: Plans de façade de la chaufferie centralisée et du bâtiment social dans le lot F.....	89
Figure 38 : Coupe géologique schématique du Bassin Parisien	91
Figure 39 : Extrait de la carte géologique (1/50 000ème) de Corbeil-Essonnes	93
Figure 40 : Localisation des indices favorables du Lusitanien dans le secteur d'étude	96
Figure 41 : Carte d'iso-épaisseur productrice (en mètres) du Lusitanien (BRGM).....	97
Figure 42 : Carte d'iso-température (en Degré Celsius) du Lusitanien (BRGM).....	98
Figure 43 : Aquifère du Néocomien du Bassin de Paris	100
Figure 44 : Représentation schématique du modèle conceptuel	105
Figure 45 : Discrétisation (maillage) du domaine 3D utilisé pour les calculs hydrodynamiques et thermiques	106
Figure 46 : Illustration de l'impact hydraulique (bar) pour un débit d'exploitation maximal.....	108

Figure 47 : Champ prévisionnel de température après 10, 20 et 30 ans d'exploitation à débits moyens (gauche) et maximaux (droite).....	109
Figure 48 : Evolution des températures de production au puits GCTM-3 selon le débit d'exploitation	110
Figure 49 : Géométrie et maillage du modèle relatif à l'Albien et Néocomien	112
Figure 50 : Illustration de l'impact hydraulique (bar) pour un débit d'exploitation maximal 150 m ³ /h du dispositif au Néocomien	114
Figure 51 : Evolution des températures de production en fond de puits producteur – Néocomien.....	115
Figure 52: Champ prévisionnel de températures après 30 ans d'exploitation pour un débit d'exploitation moyen de 110 m ³ /h (gauche) et maximal de 150 m ³ /h (droite).....	115
Figure 53 : Projection horizontale du volume d'exploitation.....	118
Figure 54 : Emprise du périmètre du permis d'exploitation et de recherche sollicité.....	120
Figure 55 : Emprise du périmètre du permis d'exploitation au Néocomien.....	122
Figure 56 : Logigramme du projet géothermie au Lusitanien avec repli au Néocomien	124
Figure 57 : Profils des puits du nouveau doublet au Lusitanien	125
Figure 58 : Coupe technique prévisionnelle du puits de production GCTM-3.....	126
Figure 59 : Coupe technique prévisionnelle du puits d'injection GCTM-4.....	127
Figure 60 : Abandon du drain original au Lusitanien et création du side-track GCTM-3ST au Néocomien	129
Figure 61 : Profils des ouvrages pour un repli au Néocomien	129
Figure 62 : Coupe technique prévisionnelle du puits de production GCTM-3ST	130
Figure 63 : Coupe technique prévisionnelle du puits d'injection GCTM-4.....	131
Figure 64 : Schéma de principe de la boucle géothermale au Lusitanien.....	132
Figure 65: Etat du site en juillet 2019	150
Figure 66: Plan de masse de la ZAC après aménagement (A), OAP de la ZAC dans le PLU (B)	151
Figure 67: Zones naturelles ZNIEFF dans le secteur d'étude	152
Figure 68: Patrimoine remarquable et Bois Classés de la commune (PLU Châtenay-Malabry).....	152
Figure 69: Synthèse et hiérarchisation des enjeux écologiques sur la ZAC (Etude d'impact, Even Conseil, Avril 2018)	153
Figure 70: Zone de compensation écologique pour la destruction de la zone humide (Etude d'impact ZAC, Even Conseil, Avril 2018)	154
Figure 71: Rose des bruits des forages (points) avec la carte des relevés de bruit Indice Lden (PLU).....	156
Figure 72 : Implantation de la machine de forage et de ses annexes pour le forage de production ainsi que la zone de sécurité pour le servicing du puits.....	163
Figure 73 : Implantation de la machine de forage et de ses annexes pour le forage d'injection ainsi que la zone de sécurité pour le servicing du puits	164
Figure 74 : Plan de génie civil type (exemple de La Courneuve Nord).....	166
Figure 75 : Exemples d'un panneau d'information d'un chantier.....	169
Figure 76 : Niveau hydrodynamique au puits producteur GCTM-3 – Hypothèse basse	178
Figure 77 : Niveau hydrodynamique au puits producteur GCTM-3 – Hypothèse haute.....	179
Figure 78 : Pression de réinjection au puits injecteur GCTM-4 - Hypothèse basse	180
Figure 79 : Pression de réinjection au puits injecteur GCTM-4 - Hypothèse haute	181
Figure 80 : Réalisation de l'avant-puits avec des moyens de forage légers	186
Figure 81 : Mise en place d'un tube guide par louvoisement et vue d'une coquille utilisée pour l'extraction des déblais	187
Figure 82 : Sonde de forage rotary (document ENSPM)	188
Figure 83 : Exemple d'implantation en contexte urbain (plateforme au Dogger Meaux Beauval)	189
Figure 84 : Exemple d'implantation en contexte résidentiel (plateforme au Néocomien Plessis-Robinson)	190
Figure 85 : Logigramme du projet géothermie au Lusitanien avec repli au Néocomien	197
Figure 86 : Localisation de la commune de Châtenay-Malabry	198
Figure 87: Entités plantées structurant la commune de Châtenay-Malabry	198
Figure 88 : Topographie de Châtenay-Malabry.....	199
Figure 89: Tracé du ru de Châtenay canalisé (source: dossier Loi Eau, avril 2018).....	200
Figure 90: Probabilité de présence de zones humides sur le territoire de Châtenay-Malabry (DRIEE IDF).....	201
Figure 91: Localisation de la zone humide sur le site de la ZAC La Vallée repérée par Even Conseil lors d'une étude pédologique (février 2018)	201

Figure 92 : Températures (A), ensoleillement (B), précipitations (C) - Normales sur la période 1981-2010, station climatologique de Vélizy-Villacoublay (Source : infoclimat)	203
Figure 93: Rose des vents annuelle sur le site de Velizy-Villacoublay entre 2009 et 2019 (www.windfinder.com)	204
Figure 94: Châtenay-Malabry (Dossier Territoire La Ville Parc)	205
Figure 95: Territoire de l'Etablissement Public Territorial Vallée Sud - Grand Paris.....	206
Figure 96: Chatenay-Malabry et ses quartiers avec leur population de nouveaux arrivants en 2009	207
Figure 97: Occupation des sols de Châtenay-Malabry (IAU IDF, 2017).....	209
Figure 98: Type de logements sur la commune (PLU modifié 2017)	210
Figure 99: maillage viaire de Châtenay-Malabry.....	211
Figure 100: Réseau de bus à proximité du site de la ZAC La Vallée (Source: Etude d'impact de la ZAC, Even Conseil, Avril 018)	212
Figure 101: Réseau principal de bus desservant Châtenay-Malabry en lien avec le site (étoile) avec A) couverture en soirée B) couverture en heure de pointe (Source PLU 2017).....	213
Figure 102: Liaisons douces près du site de la ZAC La Vallée (Source: Etude d'impact ZAC La Vallée, Even Conseil, 2016)	213
Figure 103: principe d'aménagement su réseau cyclable (source PLU 2017).....	214
Figure 104: Orientations du PADD pour un territoire vert réduisant la pression de l'urbanisme sur l'environnement.....	215
Figure 105: Zones d'activités économiques sur le territoire et ces principaux pôles (PLU Chatenay).....	216
Figure 106: Exemples d'édifices classés sur la commune (PLU 2017).....	217
Figure 107: Patrimoine bâti remarquable de Châtenay-Malabry (Source: PLU 2017).....	218
Figure 108: Périmètres de protection, sites inscrits et classés près du site de géothermie (Source : Etude d'impact ZAC, Even Conseil, Février 2016).....	218
Figure 109: Patrimoine vert sur la commune et repérage du site (étoile) (Source: PLU Châtenay-Malabry)	219
Figure 110: Espaces verts de la commune (Source : www.lau.idf)	220
Figure 111: Site d'implantation du chantier de Châtenay-Malabry avec les parcelles castrales (geoportail IGN)	221
Figure 112: Emprises des zones chantier et exploitation des forages (geoportail IGN)	221
Figure 113: Situation actuelle du site d'implantation du chantier.....	223
Figure 114: Foncier et éléments conservés (1 : allée des tilleuls et 2 : gymnase) de l'Ecole Centrale (Source: cahier des prescriptions architecturales de la ZAC)	224
Figure 115: Quatre identités de quartier (A) et Plan d'occupation des sols (B) de la ZAC La Vallée en fin d'aménagement	225
Figure 116: Phasage de livraison des différents lots et chantier de forage des puits.....	226
Figure 117: Plan de masse de la ZAC prévu en fin d'aménagement avec situation de puits de géothermie.	226
Figure 118: Environnement du site dans un rayon de 50 m autour des futures têtes de puits.....	228
Figure 119: Environnement du site dans un rayon de 300 m (plan d'occupation des sols 2017, IAU-idf)	228
Figure 120: Périmètre du SDAGE du bassin Seine-Normandie et de ses SAGE (http://gesteau.eaufrance.fr) ...	230
Figure 121: Zones naturelles ZNIEFF dans le secteur d'étude	231
Figure 122: Réserve Naturelle du bassin de la Bièvre	234
Figure 123: Patrimoine naturel autour de Châtenay-Malabry.....	235
Figure 124: Descriptif des oiseaux inscrits à la directive des oiseaux des sites Natura 2000 en zones ouvertes (violet) et forêt (vert)	236
Figure 125: Descriptif des oiseaux inscrits à la directive des oiseaux des sites Natura 2000 en zone étang.....	236
Figure 126: Recensement des espaces naturels sensibles sur le territoire de Châtenay-Malabry et zoom sur la ZAC (Source : Département Hauts de Seine)	237
Figure 127: Espaces naturels sensibles recensés autour de Châtenay-Malabry.....	238
Figure 128: Patrimoine remarquable et Bois Classés sur le territoire de Châtenay-Malabry près du site de la ZAC (PLU Châtenay-Malabry)	239
Figure 129: Sites classés et inscrits sur la commune de Châtenay-Malabry	240
Figure 130: Espaces naturels protégés autour du projet de Châtenay-Malabry	241
Figure 131: Enveloppe de zone humide probable de la DRIEE pour le site de la ZAC	242
Figure 132: Zone humide répertoriée par l'étude pédologique et végétation de 2018 (Source : Even Conseil) 242	242

Figure 133: Plan de masse de la ZAC après aménagement.....	243
Figure 134: OAP de la ZAC dans le PLU	244
Figure 135 : Emplacement zone de chantier de forage et de servicing, zonage de l'arrêté préfectoral	245
Figure 136: Synthèse et hiérarchisation des enjeux écologiques sur la ZAC (Source: étude d'impact, Even Conseil, Avril 2018)	246
Figure 137: Arbres prévus pour être conservés dans le cadre du projet de la ZAC (Source : Prescriptions architecturales, urbaines, environnementales et paysagère pour la ZAC La Vallée).....	248
Figure 138: Concentration annuelle de NO2 et particules PM10 en 2017 sur la commune de Châtenay-Malabry (Source: Airparif).....	251
Figure 139: Contribution en % des différents secteurs d'activité aux émissions de polluants pour la commune de Châtenay-Malabry en 2012 (Source : étude 2014 de Airparif)	251
Figure 140 : Répartition de l'indice CITEAIR à Châtenay-Malabry en 2018 (AIRPARIF)	252
Figure 141: Carte de bruit routier avec l'indice Lden sur une journée complète (Source des données : Bruit Parif)	254
Figure 142: Statistique d'exposition des populations aux bruit sur la commune de Châtenay-Malabry (Source: https://carto.bruitparif.fr/).....	255
Figure 143: Situation sonore initiale du site de la ZAC en 2016 (Source : Etude d'impact ZAC, Even Conseil, Avril 2018)	256
Figure 144: Plan de classement des infrastructures routières et ferroviaires (extrait PLU 2017)	258
Figure 145 : Zonage du PLU de la commune autour du site d'implantation du chantier	260
Figure 146: Orientations de l'OAP du PLU de Chatenay-Malabry.....	262
Figure 147: Servitudes d'Utilité Publiques liées à la conservation du patrimoine culturel et sportif (PLU 2017) ; 1 : site du forage de production, 2 : site du forage d'injection ; 3 : site de la chaufferie centralisée.....	264
Figure 148: Servitudes d'Utilité Publiques liées à l'utilisation de certains équipements, ressources et à la santé publique (PLU 2017).....	264
Figure 149: Risques TMD sur la commune de Châtenay-Malabry (PLU 2017).....	266
Figure 150: Tracé du futur tramway passant au sud du site de la ZAC LA Vallée (Source : Etude d'impact environnemental, Even Conseil, avril 2018).....	267
Figure 151 : Permis miniers relatifs aux hydrocarbures liquides et gazeux en Ile de France (situation au 1 ^{er} Juillet 2019, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable).....	268
Figure 152: Sites industriels et activités de services BASIAS sur la commune (BRGM)	270
Figure 153 : Arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle à Châtenay-Malabry (Source : Georisques.gouv.fr).....	272
Figure 154 : Carte du risque d'inondation par remontée de nappe sur Châtenay-Malabry et la ZAC La Vallée (Ancien site de l'Ecole Centrale) (Source : DDRM Hauts-de Seine).....	272
Figure 155: Carte du risque de mouvement de terrain du au retrait-gonflement des argiles (Source : Georisques)	274
Figure 156: Risques naturels et technologiques sur la commune de Chatenay-Malabry (PLU 2017)	275
Figure 157: Carte des anciennes carrières de Chatenay-Malabry (Source: IAU et Even Conseil)	275
Figure 158: Cartographie des zones soumises aux effondrements/affaissements de terrain liés aux anciennes carrières (DDRM Hauts de Seine).....	276
Figure 159 : Accès au chantier de la ZAC	279
Figure 160 : Zone de nettoyage des véhicules d'un chantier.....	280
Figure 161 : Exemples de têtes de puits	282
Figure 162 : Empreinte du chantier de forage et localisation de la zone de protection du Conocéphale gracieux (Vert foncé : haut du talus ouest protégé, Vert clair : bas du talus ouest, zone à faible intérêt écologique)	283
Figure 163 : Paysage actuel de la ZAC.....	285
Figure 164 : Exemple d'intégration en sous-sol des têtes de puits.....	286
Figure 165 : Emplacement du local PAC dans la ZAC de la Vallée.....	287
Figure 166 : Exemple d'implantation et de mât de forage.....	290
Figure 167 : Rose des bruits – Appareil de forage MR 7500 (Entrepose Drilling).....	294
Figure 168 : Echelle du bruit en dB(A) (source ADEME).....	295
Figure 169 : Influence sonore de la machine de forage sur le site du puits de production et sur son voisinage (repères alentours chantiers, 150m et 300m, valeurs de dB).....	297

Figure 170: Influence sonore de la machine de forage sur le site du puits d'injection et sur son voisinage (repères alentours chantiers, 150m et 300m, valeurs de dB).....	298
Figure 171: Rose des bruits du forage (points) avec la carte des relevés de bruit Indice Lden (PLU).....	299
Figure 172: réseaux d'eaux usées et pluviales du site de la ZAC (Source : Dossier Loi Eau)	302
Figure 173: Connection des sites de forages et de la PAC au réseau d'eau pluvial prévu pour la ZAC (Source : Dossier Loi Eau, avril 2018)	303
Figure 174: Plan du réseau de chaleur prévu sur la ZAC (Source : Prescriptions architecturales de la ZAC).....	304
Figure 175: Réseau d'assainissement à ciel ouvert de la ZAC (Source: Dossier Loi Eau)	305
Figure 176: Synoptique de gestion des effluents d'une centrale géothermique en exploitation.....	306
Figure 177 : Signalisation sur chantier	307
Figure 178 : Stockage des déchets sur un site	309
Figure 179 : Bacs de rétention et stockage d'huile sur un chantier.....	309
Figure 180: Patrimoine naturel dans le territoire du SAGE Brière	319
Figure 181 : Localisation du Ru de Chatenay	326
Figure 182 : Enveloppes d'alerte potentiellement humides dans le secteur d'étude (DRIEE)	326
Figure 183: Zone de compensation écologique pour la destruction de la zone humide lors de l'aménagement de la ZAC (Source : Etude d'impact ZAC, Even Conseil, Avril 2018)	327
Figure 184 : Carte des forages à l'Albien-Néocomien en Ile de France	331
Figure 185 : Origine de l'eau et usines de production d'eau potable d'Ile de France	332
Figure 186 : Captages d'eau potable du Val de Marne (94) et leurs périmètres de protection	333
Figure 187 : Captages d'eau des hauts de Seine (ARS 92)	334
Figure 188 : Carte des forages d'eau dans un rayon de 5 km autour du site (BSS)	335
Figure 189 : Exemple de scénario de fuite pour chacun des types possibles	338
Figure 190 : Mesures pour la protection des aquifères sus-jacents du projet de doublet géothermique au Lusitanien.....	341
Figure 191 : Projets d'urbanisation de la ville	351
Figure 192: Localisation des OAP sectorielles du PLU.....	352
Figure 193 : Plan de masse de la ZAC projetée	354
Figure 194 : Objectifs du SRCE Ile de France.....	356
Figure 195 : Projection de la promenade plantée et zone de compensation de la ZAC	357
Figure 196 : Tracé et accessibilité aux transports en communs depuis la ZAC.....	358
Figure 197 : Principe d'aménagement de la ZA Europe (Watel-Dominique Hertenberger)	359
Figure 198 : Projet du Business Parc	360
Figure 199 : Projet Jean Zay d'Antony.....	362

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques d'exploitation du nouveau doublet de Chatenay-Malabry	19
Tableau 2: Coordonnées du permis de recherche sollicité	21
Tableau 3: Coordonnées des points d'impact au réservoir des puits envisagés	22
Tableau 4: Deux modes de production principaux du doublet projeté	25
Tableau 5: Coût des principaux postes de dépense pour le doublet	29
Tableau 6: Récapitulatif des caractéristiques d'exploitation du doublet au Lusitanien	68
Tableau 7: Récapitulatif des caractéristiques d'exploitation en cas de repli au Néocomien	68
Tableau 8 : Programme immobilier projeté sur la ZAC	83
Tableau 9 : Longueur et caractéristiques du réseau de chaleur	85
Tableau 10: Nombre de sous-stations et leurs puissances souscrites dans le temps	85
Tableau 11 : Coupe géologique prévisionnelle au droit du secteur d'étude	94
Tableau 12 : Valeurs moyennes des principaux paramètres chimiques mesurés aux puits du secteur d'étude..	99
Tableau 13 : Géochimie des eaux captant l'aquifère de l'Albien- Néocomien à proximité du secteur d'étude.	102
Tableau 14 : Caractéristiques principales du réservoir du Lusitanien et Néocomien au droit du secteur d'étude	103
Tableau 15 : Paramètres principaux du modèle hydrogéologique conceptuel	107
Tableau 16 : Caractéristiques hydrodynamiques du réservoir	112
Tableau 17 : Paramètres thermiques du réservoir et des épontes supérieures et inférieures	113
Tableau 18 : Coordonnées du puits du doublet de Chatenay-Malabry	117
Tableau 19 : Caractéristiques prévisionnelles pour l'opération de géothermie au Lusitanien.....	118
Tableau 20 : Coordonnées des angles du permis de recherche sollicité pour l'opération de géothermie de Chatenay-Malabry.....	119
Tableau 21 : Coordonnées du puits du doublet au Néocomien de Chatenay-Malabry	120
Tableau 22 : Caractéristiques prévisionnelles pour l'opération de géothermie au Lusitanien.....	122
Tableau 23 : Description sommaire des équipements de complétion de la boucle géothermale.....	134
Tableau 24 : Détail des paramètres physico-chimiques suivis et périodicité selon des arrêtés préfectoraux d'exploitation en vigueur pour des puits au Dogger.....	144
Tableau 25 : Paramètres et fréquences des analyses d'eau	146
Tableau 26 : Caractéristiques des parcelles susceptibles d'accueillir le site de forage	162
Tableau 27 : Caractéristiques du programme de forage/boue/cimentation.....	173
Tableau 28 : Durée d'occupation prévisionnelle des sites dédiés aux travaux de forage au Lusitanien	175
Tableau 29 : Durée d'occupation prévisionnelle des sites dédiés aux travaux de repli au Néocomien	175
Tableau 30 : Consommation énergétique et COP du doublet selon l'hypothèse de productivité/injectivité du réservoir	183
Tableau 31 : Descriptif des équipements de la boucle géothermale du doublet de Chatenay-Malabry (1/2)...	184
Tableau 32 : Descriptif des équipements de la boucle géothermale du doublet Chatenay-Malabry (2/2).....	185
Tableau 33 : Liste des ZNIEFF à proximité de la commune	231
Tableau 34 : Seuil limite des indices Lden et Ln selon le secteur d'étude (PPBE).....	254
Tableau 35 : Niveaux sonores de référence déterminant les secteurs ou les constructions soumis à des obligations d'isolement acoustique (PLU).....	257
Tableau 36 : Risques naturels et industriels identifiés sur la commune	277
Tableau 37 : Estimation du nombre de camions desservant le site selon les phases de travaux.....	279
Tableau 38: Fréquence des opérations de maintenance pour un doublet au Lusitanien.....	281
Tableau 39 : Valeurs d'émergences maximales admissibles.....	293
Tableau 40 : Valeurs moyennes de bruit mesurées en 2010 sur un chantier et dans son environnement durant une journée de 7h à 22h avec la machine MR 7500	295
Tableau 41 : Compatibilité du projet avec le SDAGE et le SAGE	318
Tableau 42: Compatibilité du projet avec le SAGE de la Bièvre	324
Tableau 43 : Résultats de l'estimation de l'extension des impacts chimiques de l'ion chlorure dans le cas d'une fuite d'eau salée issue du Dogger ou du Trias (BRGM RP-66820-FR)	339
Tableau 44 : Vitesse de vent et période moyenne de retour en Ile de France (Source : www.meteo-paris.com)	367
Tableau 45 : Seuils des effets toxiques selon l'INERIS (2004)	372

Tableau 46: Valeurs limite d'exposition professionnelles indicatives selon l'INRS (2009) 373

RESUME NON TECHNIQUE



Dans la perspective du départ programmé de l'Ecole Centrale du campus de Chatenay-Malabry, la Ville et l'Etat ont engagé une réflexion commune dès 2012 afin d'envisager l'avenir du site. Ce protocole a ouvert à la ville la possibilité de faire réaliser une étude d'urbanisme globale, définissant les possibilités d'aménagement et respectant les objectifs de la commune et de l'Etat.

La collectivité a aussi souhaité donner à cette opération l'ambition de devenir un éco-quartier à vocation principalement résidentielle, respectueux de son environnement. Ce quartier devra donc être conçu en prenant en compte les trois piliers du développement durable : le développement économique, le respect de l'environnement et l'aspect social.

Pour le projet d'aménagement de la ZAC, une mixité sociale et fonctionnelle est recherchée ainsi qu'une qualité paysagère du bâti et des espaces publics, étant donné la proximité avec le site classé du Parc de Sceaux.

Suite à un concours organisé par la Ville entre plusieurs cabinets d'architectes, le projet urbaniste architectural et paysager de l'équipe François Leclercq a été retenu et ajusté de 2013 à 2017. Les principes fondateurs de ce projet sont les suivants :

- Une prairie centrale structurant le réseau d'espaces verts, reliant fonctionnellement le Parc de Sceaux et la coulée verte du sud parisien. Elle repose particulièrement sur la création d'un fil d'eau permanent le long du tracé du ru de Chatenay.
- La création de deux nouvelles voies internes de circulation : le cours du commerce et la voie du parc, puis de voies internes secondaires et d'un réseau de cheminements doux.
- Des places publiques : place de l'Europe en lien avec la future station de tramway Antony-Clamart, place de la Coulée Verte en lien avec celle-ci, et une dernière place au niveau de l'entrée principale du Parc de Sceaux.
- Un pôle d'équipements publics autour de la place de la coulée verte, un pôle de bureaux à proximité du futur tramway, et enfin un axe commercial le long du Cours du Commerce.

En février 2017, Eiffage Aménagement a gagné le concours d'aménagement pour créer l'éco-quartier sur 21 Ha ; la ZAC La Vallée. Cet Aménagement de la ZAC comprend la création de 216 695 m² de locaux dont 132 496 m² de logement accession, 16 202 m² de logement social, 33 106 m² de bureaux, 14 354 m² de commerces, 20 357 m² de bâtiments publics (école, crèche, ...)

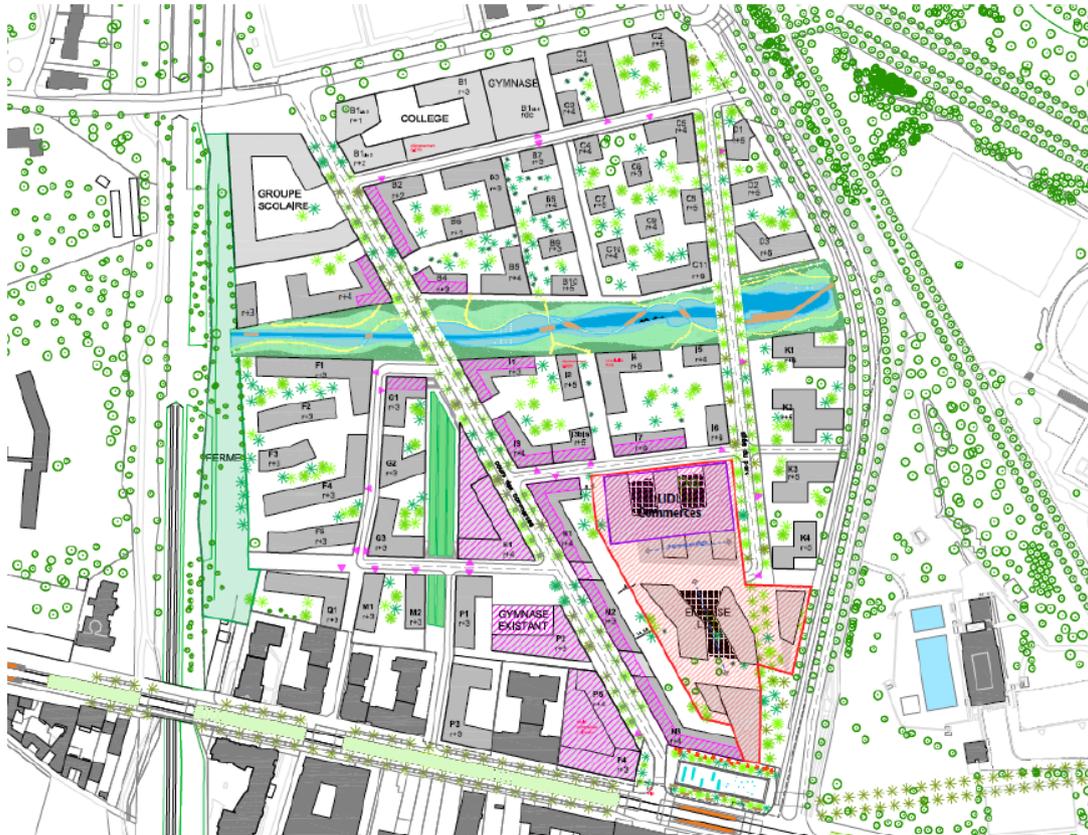
La livraison de l'Aménagement est prévue en 18 lots avec 3 phases dont une première livraison courant 2022 et la dernière livraison en 2026.

Les promoteurs associés au développement de la ZAC La Vallée, Eiffage Immobilier, Kaufman & Broad, Icade, Coffim ainsi que Lidl, qui construit son siège national sur la ZAC La Vallée, ont mis en place une ASL (Association Syndicale Libre) à l'échelle de la ZAC pour assurer le portage d'un certain nombre de services à l'échelle du quartier.

Pour alimenter les usagers de la ZAC avec une énergie issue majoritairement d'une source d'énergie décarbonnée, l'ASL a décidé de confier la réalisation d'un réseau de chaleur privé à Eiffage Energie Systèmes. Le contrat de conception et de construction d'une part, le contrat d'exploitation et de maintenance d'autre part ainsi que le financement de ce réseau de chaleur seront portés par Flowergy Chatenay-Malabry, filiale à 100 % d'Eiffage Energie Systèmes.

Au fur et à mesure de la livraison des lots, les copropriétés se substituent au promoteur au sein de l'ASL. Etant donné la durée de développement de l'Aménagement, les promoteurs resteront associés pendant une durée significative au fonctionnement de l'ASL. Un directeur d'ASL est déjà nommé

pour la ZAC La Vallée, professionnel de la gestion de copropriétés, en vue de rendre rapidement opérationnel le fonctionnement de celle-ci.



Source : François Leclercq

Figure 1 : Projet d'aménagement de la ZAC La Vallée

L'objectif de la desserte énergétique de l'éco-quartier est de couvrir à minima 60 % des besoins annuel de chauffage et d'ECS (Eau Chaude Sanitaire) par le recours à la géothermie et de s'assurer que la ressource est fiable et pérenne pour assurer le fonctionnement sur une durée de 30 ans (durée initiale du permis d'exploitation).

L'objectif du futur projet de géothermie envisagé sur la ZAC de Chatenay-Malabry est d'atteindre la puissance théorique maximale d'environ 4,5 MW.

Pour atteindre cet objectif, le captage de l'aquifère du Lusitanien pour lequel la puissance disponible est en adéquation avec le projet a été retenu. Les forages, un ouvrage vertical et l'autre ouvrages orienté et incliné, seront dédiés à la production puis à la réinjection de l'intégralité du débit dans l'aquifère d'origine.

Compte tenu du caractère exploratoire des travaux, une solution de repli ciblant l'aquifère du Néocomien a été envisagée.

Le futur réseau de chaleur sera alimenté de manière pérenne principalement à partir de l'utilisation de la ressource géothermale issue du Lusitanien et en complément par l'utilisation de moyens de production traditionnels de type chaufferies gaz.

Les travaux de forage sont programmés au 2^{ème} semestre 2020 pour une mise en service du doublet début 2022.

Le porteur du projet Flowergy Chatenay-Malabry est soumis à une procédure réglementaire qui vise à obtenir successivement un permis de recherche de gîte géothermique, un permis d'ouverture de travaux de forage pour un puits de production et de réinjection, puis une fois les travaux de forage réalisés un permis d'exploitation du futur doublet.

Le présent document est constitué d'une demande de permis de recherche d'un gîte géothermique basse température et d'une demande d'ouverture de travaux exploratoires. Selon la réglementation en vigueur, ce dossier sera instruit par la Préfecture des Hauts-de-Seine et sera soumis évaluation environnementale et à une enquête publique. Le préfet statuera par un arrêté-préfectoral autorisant la recherche d'un gîte géothermique et une autorisation d'ouverture de travaux.

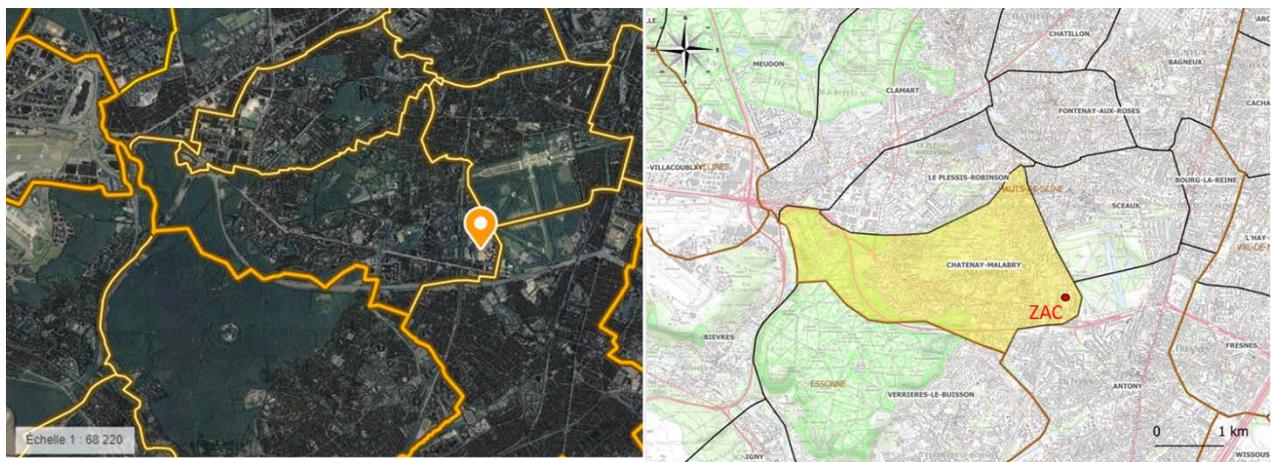


Figure 2: Secteur d'étude sur vues aériennes avec limites administratives

Conformément à la réglementation en vigueur, l'autorisation de recherche est sollicitée pour la durée maximale de 3 ans. A l'issue des travaux de forage du nouveau doublet, en cas de succès de ce forage, un permis d'exploitation sera demandé pour une durée initiale de 30 ans.

Les futurs chantiers de forage et la chaufferie centrale prendront place sur le site de l'Ecole Centrale et couvrira les parcelles n°51, 124, 127 et 133 des feuilles cadastrales n°000 AL69, AM144 et AF124 de la commune. Le site de la ZAC est en cours d'aménagement, une grande partie des bâtiments existants ont été démolis, et comporte actuellement des zones en friche, des remblais et talus, des zones arborées, sur une surface de l'ordre de 21 ha.

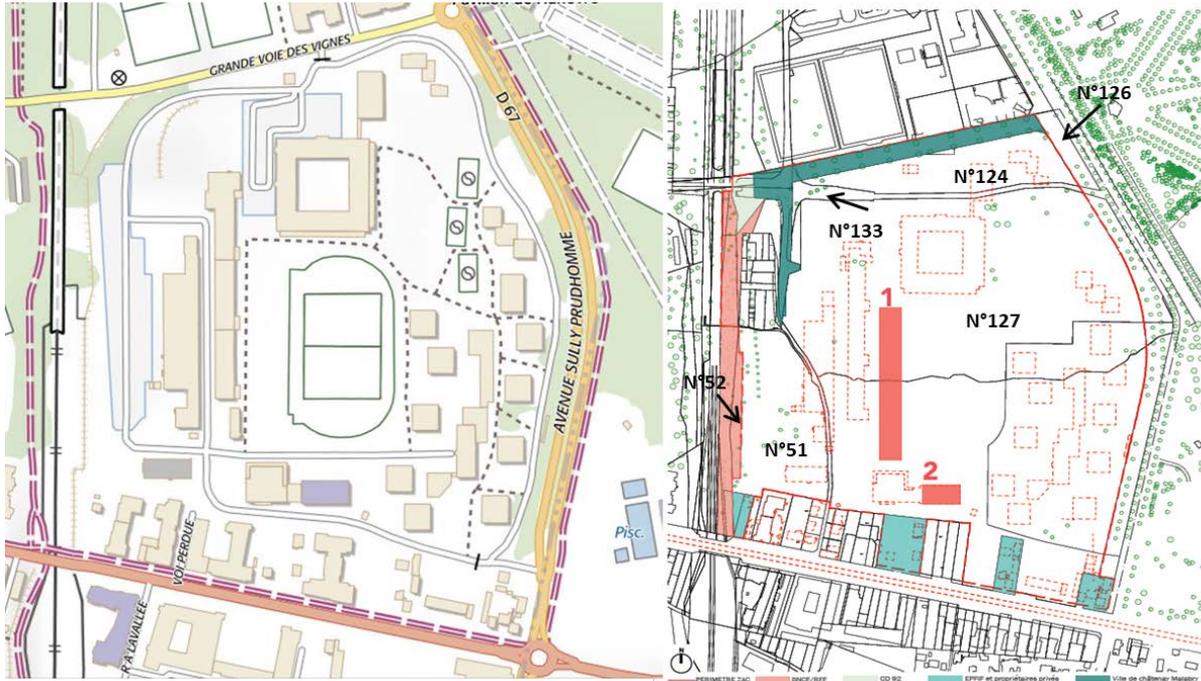


Figure 3 : Site d'implantation des chantiers de forage et parcelles cadastrales

La cible du projet est le réservoir du Lusitanien qui s'étend sous l'ensemble du Bassin Parisien et affleure sur ses bordures. Ce réservoir (ou aquifère) est composé d'une roche sédimentaire calcaire perméable.

Le design du doublet prévoit que le puits producteur soit vertical et le puits injecteur soit dévié pour permettre un écartement suffisant des puits au toit du réservoir et limiter ainsi les impacts hydrauliques et thermiques entre puits (Cf. Figure ci-dessous).

La profondeur verticale du toit du Lusitanien est estimée à 1 250 mètres par rapport au sol (ou -1170 mNGF). Les caractéristiques hydrogéologiques de ce réservoir présentent de nombreux indices favorables dans le secteur d'étude même si aucun ouvrage ne l'exploite actuellement.

Les caractéristiques d'exploitation du nouveau doublet au Lusitanien (GCTM-3 / GCTM-4) sont résumées dans le tableau suivant.

Température au réservoir (°C)	Température d'injection minimale (°C)	Débit maximal visé (m ³ /h)	Puissance thermique maximale (MW)
55 ± 5	20	150	6,1 ± 0,8

Tableau 1: Caractéristiques d'exploitation du nouveau doublet de Chatenay-Malabry

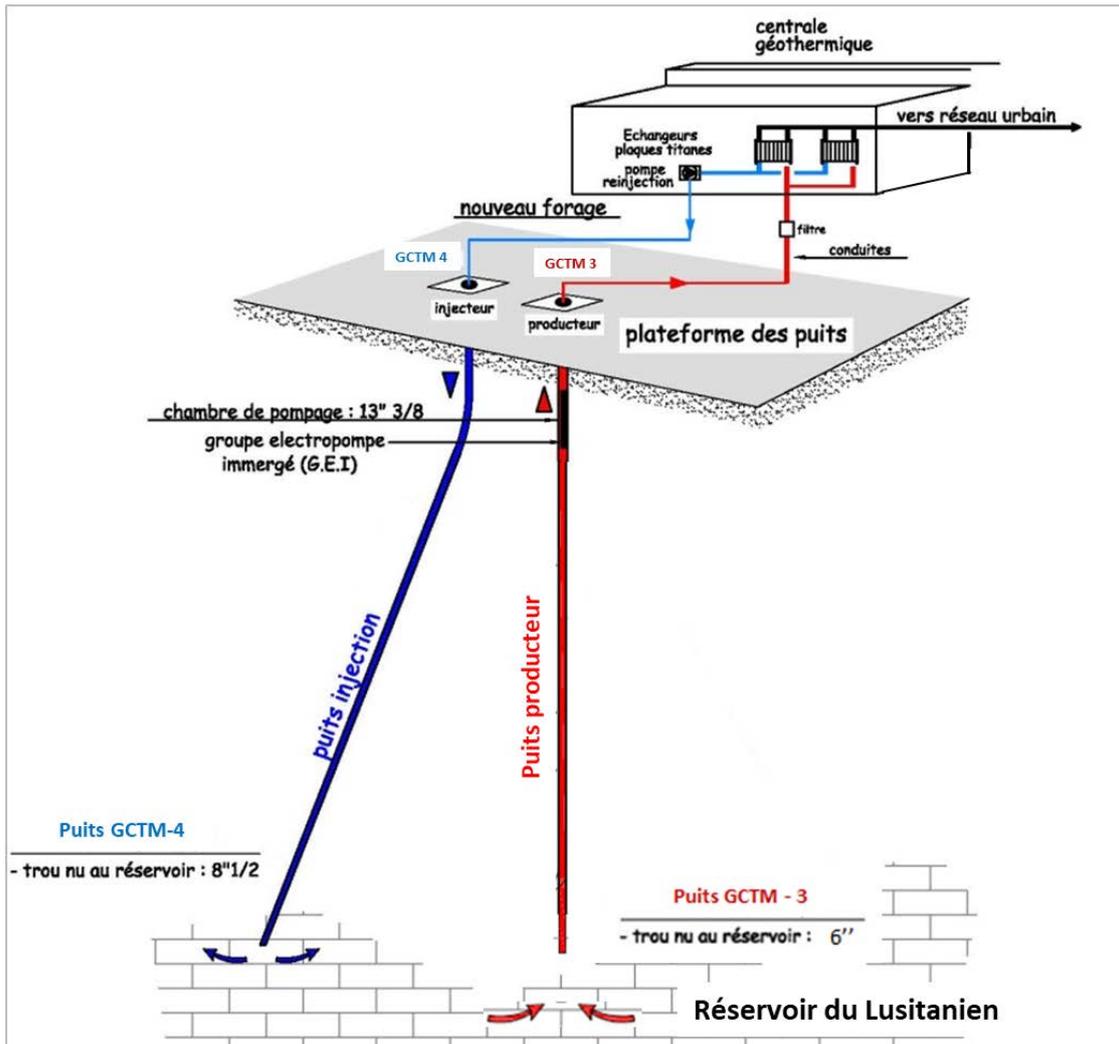


Figure 4: Design du doublet et schéma de la boucle géothermale

Le périmètre du titre de recherche dans le dossier conjoint de demande de permis de recherche et d'ouverture de travaux de forage, proposé pour le projet est assimilable à un rectangle, d'une superficie égale à 4,8 km² environ (Cf. Figure 5).

Aucun ouvrage existant n'exploite l'aquifère du Lusitanien dans le secteur d'étude ni sur la région Ile-de-France. Le permis de recherche relatif au nouveau projet de la ZAC La Vallée portera sur 3 communes des Hauts-de-Seine (92) :

- **Chatenay-Malabry ;**
- **Sceaux ;**
- **Antony.**

A l'intérieur du périmètre de recherche, l'emprise du futur permis d'exploitation est représentée par une zone en forme de « gélule » d'orientation Nord-Est/Sud-Ouest (Cf. Figure 5). Ses dimensions permettent d'anticiper, dans une certaine limite, un éventuel changement des points d'impacts du doublet et de faire pivoter le dispositif en cas de besoin (incident technique survenant lors de la réalisation d'un : forage par exemple, avec forage d'un autre puits à partir d'une ouverture créée dans le puits initialement foré (i.e side-track ou opération de déviation latérale)).

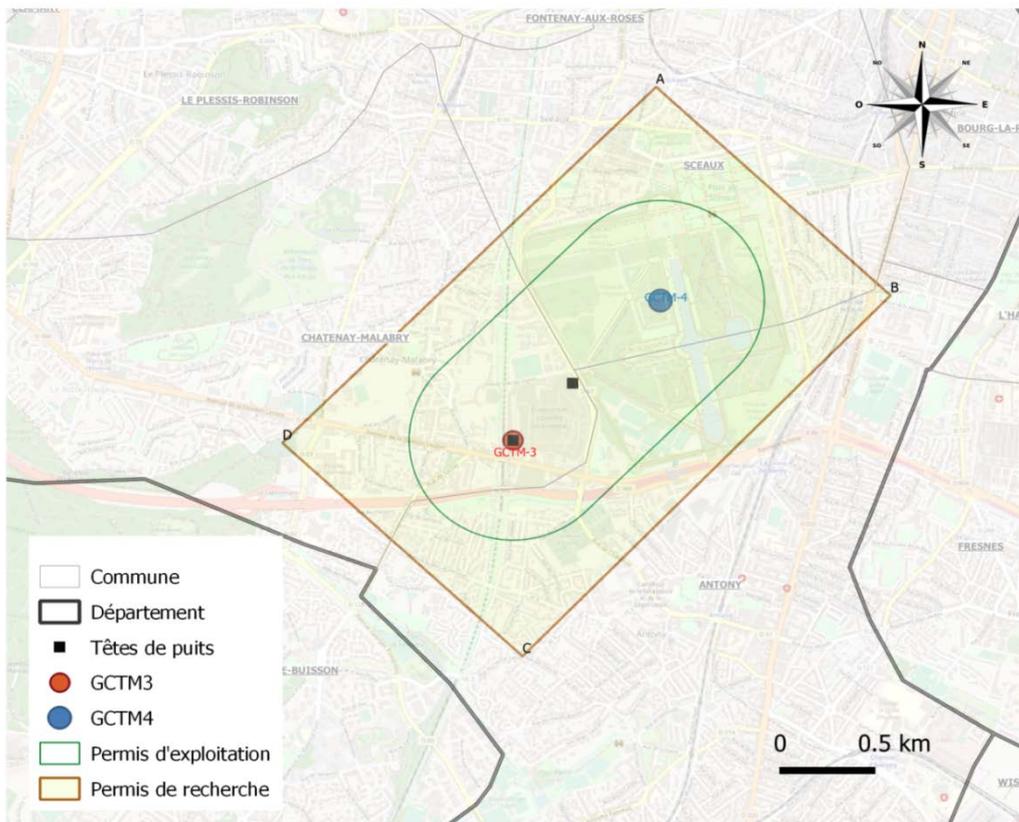


Figure 5: Localisation du permis de recherche projeté

Les coordonnées des angles du permis sollicité sont reportées dans le tableau ci-dessous (système de coordonnées « RGF93 » dans la zone « Lambert 93 »).

Coordonnées des angles du PER	Coordonnées Lambert 93	
	X(m)	Y(m)
A (Nord)	648 268	6 853 629
B (Nord-Est)	649 509	6 852 479
C (Sud)	647 561	6 850 489
D (Sud-Ouest)	646 290	6 851 666

Tableau 2: Coordonnées du permis de recherche sollicité

Les coordonnées, en Lambert 93, des points d'impacts au réservoir des puits sont reportées dans le tableau ci-dessous. Les coordonnées des futures têtes de puits en surface seront comprises dans un cercle de 10 mètres de rayon (Cf. Tableau et Figure ci-après).

Pour le projet, un déplacement optimal au toit du réservoir a été fixé à 650 m pour le puits injecteur GCTM-4. Le puits producteur étant vertical et les têtes de puits écartées d'environ 445 m en surface ; l'écartement avec les sabots des puits du doublet sera d'environ 1 095 mètres au toit du réservoir.

En Lambert 93	X (m)	Y (m)	Z (m NGF)
Têtes de puits Puits producteur GCTM-3	647 517± 10	6 851 738 ± 10	+80
Impact au toit du réservoir Puits producteur GCTM-3	647 517	6 851 738	-1170
Têtes de puits Puits injecteur GCTM-4	647 825 ± 10	6 852 001 ± 10	+80
Impact au toit du réservoir Puits injecteur GCTM-4	648 290	6 852 450	-1170

Tableau 3: Coordonnées des points d'impact au réservoir des puits envisagés

Les implantations des deux plateformes de forages sont présentées aux figures suivantes.

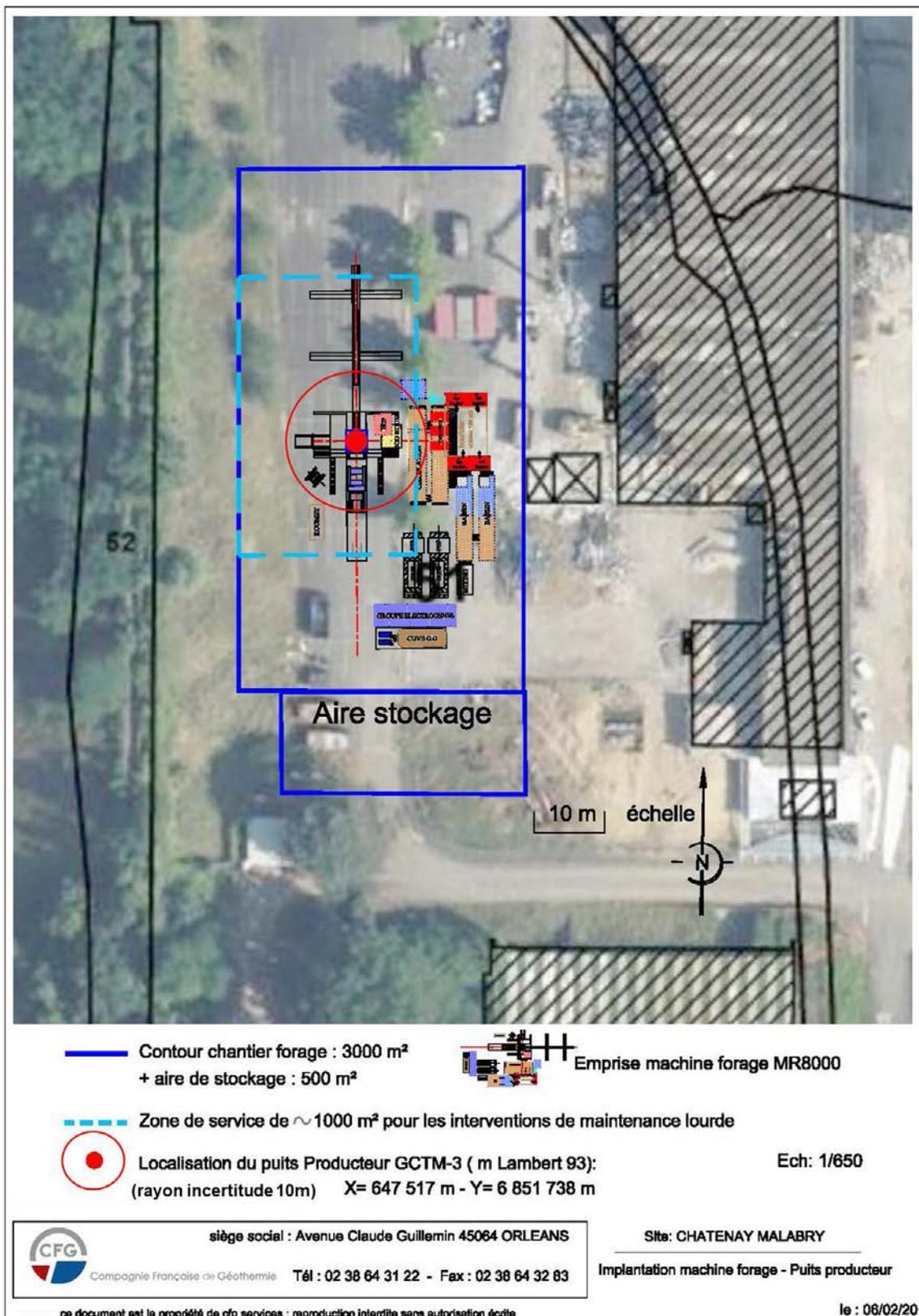


Figure 6 : Implantation de la machine de forage et de ses annexes pour le forage de production ainsi que la zone de sécurité pour le servicing du puits

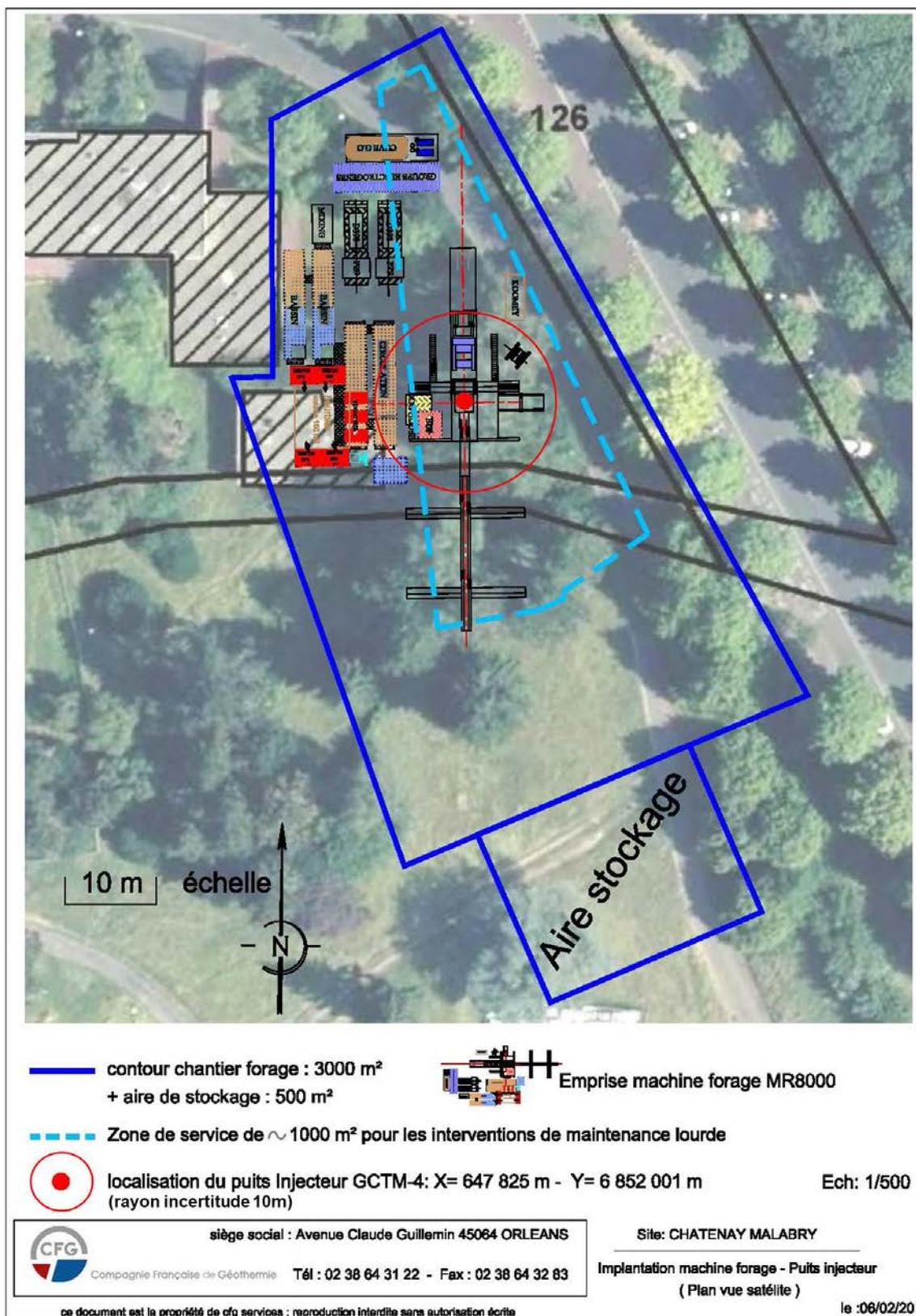


Figure 7 : Implantation de la machine de forage et de ses annexes pour le forage d'injection ainsi que la zone de sécurité pour le servicing du puits

La valeur des débits (moyens et maximaux) et des températures de réinjection, prises en compte dans le modèle pour les simulations numériques du doublet, intègrent les deux modes de production principaux du doublet (Cf. Ci-après).

Débit géothermal moyen	Température réinjection moyenne	Débit géothermal maximal	Température réinjection minimale
125 m ³ /h	25°C	150 m ³ /h	20°C

Tableau 4: Deux modes de production principaux du doublet projeté

A débit maximal, l'impact hydraulique de ± 1 bar (soit une hausse ou une baisse de 10 mètres du niveau de la nappe) du nouveau dispositif est perceptible jusqu'à une distance de 700 mètres autour des points d'impact au réservoir de GCTM-3 / -4.

La modélisation d'exploitation du réservoir a montré que le positionnement des nouveaux puits permet d'obtenir une décroissance faible au droit du puits producteur (inférieure à 0,5°C après 30 ans d'exploitation à débit maximal). La bulle froide créée autour du puits GCTM-4 est attirée par le puits producteur GCTM-3 et reste contenue à l'emprise du futur permis d'exploitation du doublet.

Le projet exploratoire au Lusitanien, aujourd'hui isolé ne peut remettre en cause la pérennité des dispositifs voisins, ni du point de vue de la valorisation thermique ni du point de vue des rendements hydrauliques.

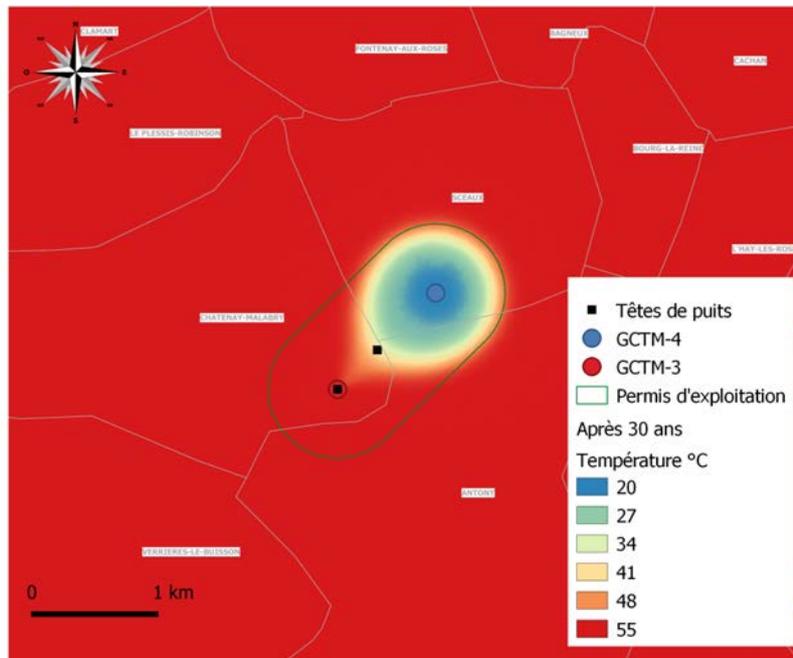


Figure 8: Champ prévisionnel de températures pour l'horizon fin 2052 (débit maximal et température de réinjection minimale)

Lors de la réalisation des forages géothermiques, le projet est régi par diverses contraintes et risques inhérents à ce type d'opérations. Ceux-ci sont d'ordre :

- technique : contraintes liées à l'implantation du chantier en surface, à l'impact hydraulique et thermique au niveau du réservoir, à la conception des puits, au risque géologique, hydrogéologique et aux opérations de forage ;
- organisationnel (planification, etc...) ;
- contextuel (chantier) : nuisances, sécurité, etc...

Les nouveaux ouvrages, d'orientation nord-est/sud-ouest, traverseront les nappes sus-jacentes au Dogger dont certaines sont utilisées pour l'alimentation en eau potable. Ces nappes sont de haut en bas ; la nappe du réservoir du Priabonien – Marnes de Pantin ; Bartonien – Calcaire de Saint-Ouen et Sables de Beauchamp), la nappe du réservoir multicouche du Lutétien et de l'Yprésien de l'Eocène moyen et inférieur (Marnes et Caillasses, Calcaire grossier et Sables), la nappe du réservoir de la Craie (Crétacé supérieur, Sénonien) et l'aquifère multicouches de l'Albien / Néocomien (Crétacé inférieur).

Ces nappes seront isolées entre elles par un ou plusieurs cuvelages cimentés. De plus le réservoir du Lusitanien est naturellement isolé de ces nappes par une épaisseur importante de formations imperméables sus-jacentes.

Des dispositions sont prévues pour l'exécution, l'entretien et le contrôle des ouvrages, notamment en vue de la conservation et de la protection des eaux souterraines.

Conception du forage	Exploitation du forage
<p>Le dispositif de la mobilisation de la ressource sera composé d'un doublet GCTM-3/GCTM-4 fonctionnant en boucle fermée.</p> <p>Un simple voire double tubages en matériau acier et composite protégeront les aquifères traversés au droit du puits producteur. Des doubles ou triples tubages seront mis en place au droit du puits injecteur.</p> <p>L'espace annulaire entre les tubages et la formation sera cimenté sur toute la hauteur des puits permettant d'isoler la nappe du Lusitanien et les nappes sus-jacentes.</p>	<p>Des suivis réglementaires seront effectués selon une périodicité prévue par l'arrêté préfectoral d'exploitation afin de suivre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'évolution des paramètres physico-chimiques et des paramètres de suivi de la corrosion, dépôt et développement bactérien ; - l'état des puits (diagraphie et diagnostic de performance hydraulique).

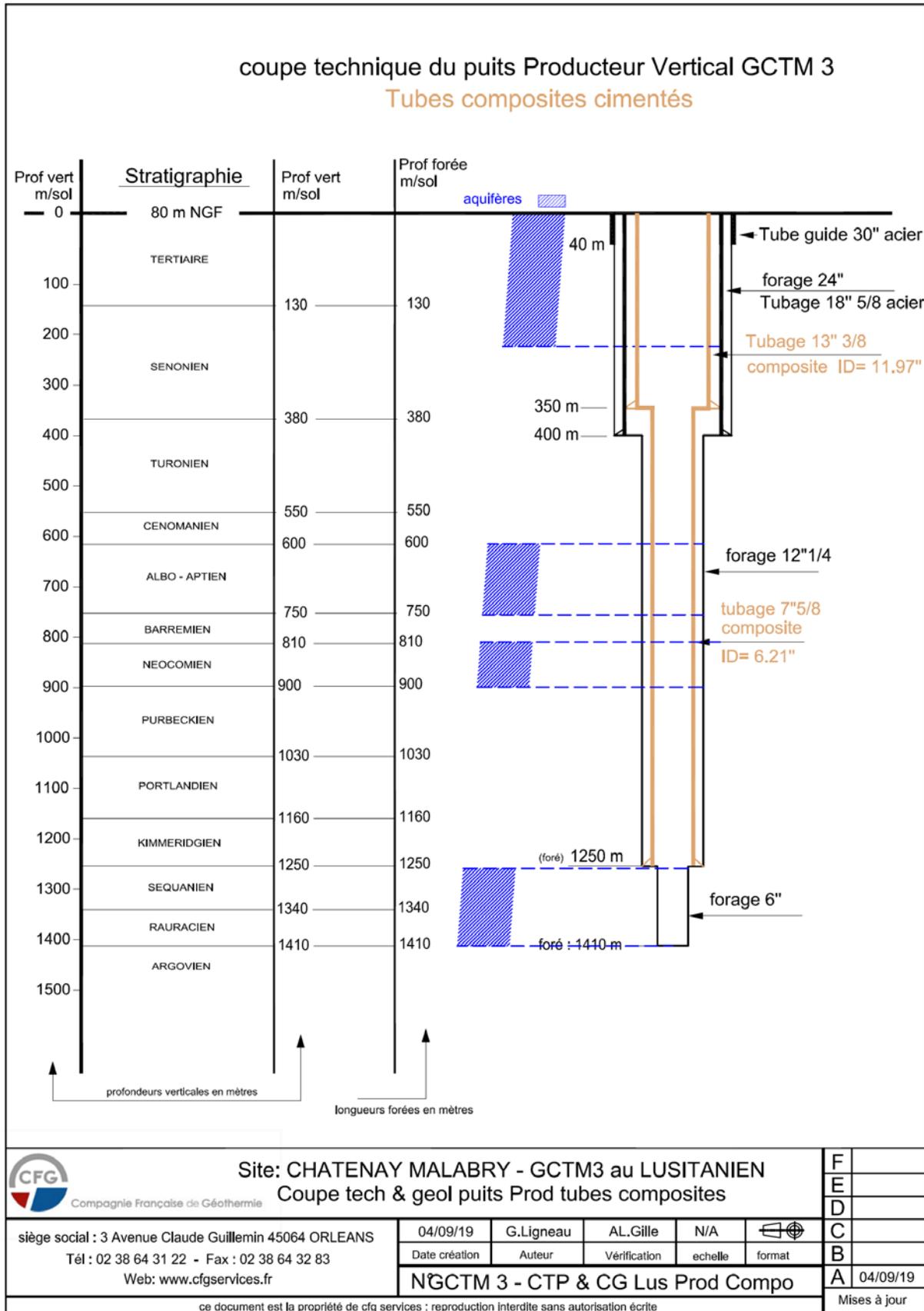


Figure 9 : Coupe technique prévisionnelle du puits de production GCTM-3

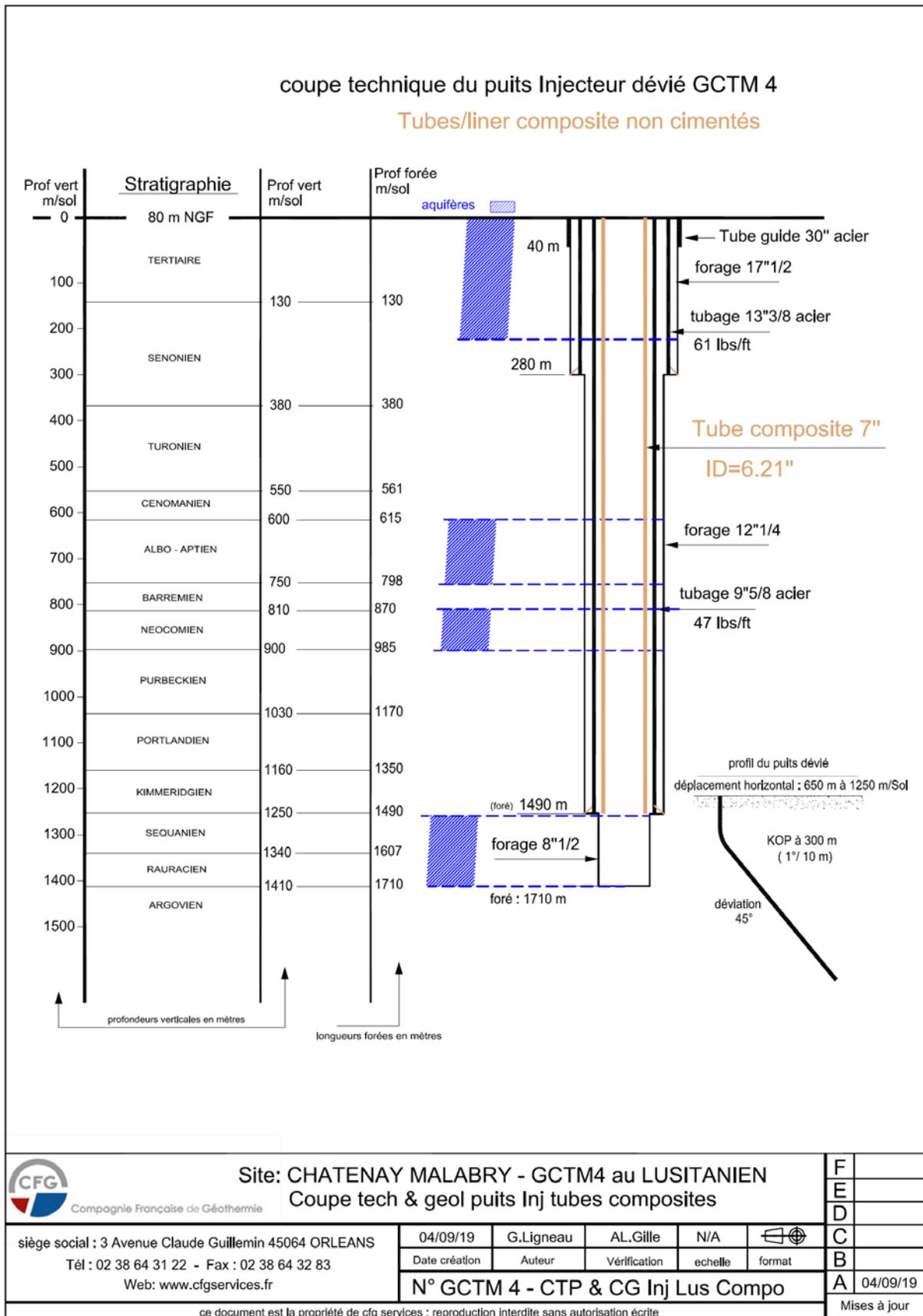


Figure 10 : Coupe technique prévisionnelle du puits d'injection GCTM-4

D'un point de vue économique, les études ont permis d'évaluer le coût des principaux postes de dépenses sur l'opération de géothermie (Cf. Tableau 5). Le coût de la réalisation du doublet et celui des équipements de la boucle géothermale ne prennent pas en compte les assurances et la maîtrise d'œuvre et la garantie court-terme de la SAF. Les coûts d'exploitation annualisés considèrent une hypothèse basse de productivité/injectivité de la ressource.

Coût global de la réalisation du doublet au Lusitanien	Coût des équipements de la boucle géothermale	Coûts d'exploitation annuels du doublet sur 30 ans (P1, P2, P3)
5 730 k€ HT	1 600 k€ HT	330 k€ HT/an

Tableau 5: Coût des principaux postes de dépense pour le doublet

La demande d'ouverture de travaux exploratoires présentée dans le **Chapitre 3** comprend un mémoire exposant les caractéristiques principales des travaux prévus et un exposé des méthodes de forage envisagées.

Des travaux d'aménagement préalables seront menés par une entreprise de génie civil afin d'adapter les surfaces actuelles aux contraintes de ce type de chantier. Une remise en état du site sera réalisée à la fin des travaux de forage, seuls les éléments nécessaires à l'exploitation et à la maintenance des puits seront conservés.

Les travaux de forages suivront une géométrie précise :

- pour le puits producteur GCTM-3: le puits est vertical et atteindra le réservoir cible à 1 250 mètres verticaux et une longueur forée totale de 1 410 mètres.
- pour le puits injecteur GCTM-4 : le déplacement horizontal par rapport à l'axe de l'ouvrage est d'environ 650 mètres au toit du Lusitanien à 1 250 mètres verticaux, soit 1 490 m forés, et atteindra une longueur forée totale de 1 710 mètres.

Un programme de forage incluant un programme de tubage, de boue et de cimentation est conçu dans l'objectif d'assurer la pérennité des ouvrages sur une longue période tout en tenant compte des contraintes environnementales, réglementaires et des caractéristiques de la ressource.

Pendant la période de forage, les activités (24h/24 et 7j/7) seront organisées selon les durées de travail définies par le Code du Travail. Les effectifs moyens présents sur le site sont généralement inférieurs à une quinzaine de personne.

Conformément à la réglementation, les présentes demandes de permis de recherche de gîte géothermique basse température au Lusitanien et d'ouverture de travaux exploratoires sont accompagnées d'une étude d'impact environnemental du projet concernant la phase des travaux et la phase d'exploitation. Cette étude d'impact fait l'objet du **Chapitre 4**.

L'objet de l'étude d'impact présentée est de :

- décrire 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 envisagées pour supprimer, limiter et si possible compenser les effets négatifs.

Le site d'implantation du futur doublet forage géothermique est situé sur le site de la ZAC La Vallée, avec le site du puits de production au Sud-Ouest de la ZAC et le site du puits d'injection au Nord-est de la ZAC. Le site du puits d'injection prendra place sur les parcelles n°124, 126 et 133. Le site du puits de production prendra place sur la parcelle n°51. L'accès aux sites se fera via les avenues de la Division Leclerc et Sully Prudhomme et de la rue Grande voie des Vignes.

Le site est composé essentiellement de talus enherbés, d'une voirie, de déblais de chantier et des arbres. La grande majorité des bâtiments de l'ancienne Ecole Centrale ont été démantelés et la ZAC est en cours d'aménagement.



Figure 11: Etat du site en juillet 2019

Dans le PLU de Chatenay-Malabry, le site du projet appartient à la zone UEC qui est dédiée à la création de l'éco-quartier de La Vallée. Le PLU indique que cette zone fait l'objet d'une Opération d'Aménagement Programmée. Le projet de forage du doublet géothermique et l'exploitation géothermique de Chatenay-Malabry sont compatibles avec les conditions d'occupation et d'utilisations décrites aux chapitres de la zone UEC du règlement du PLU 2019.

Le projet est situé sur une zone OAP (Opération d'Aménagement particulier). Le projet de forage des puits et l'exploitation géothermique de la ZAC La Vallée, situé à proximité d'établissements scolaires, est compatible avec le caractère du voisinage. La mise en place de mesures de protection de l'environnement, de mesures compensatoires et de mise en sécurité du public sur la durée courte du chantier ne portera pas atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique.

Cette zone OAP fixe toutefois un objectif de trame verte sur le site de la ZAC La Vallée. Les actions indiquées pour renforcer de la trame verte (principalement à l'ouest de la ZAC) sont l'aménagement d'espaces paysagers et liaisons douces le long de la coulée verte, l'élargissement de la coulée verte avec des espaces non constructibles. Les conditions d'aménagement particulières seront prises en compte dans les prescriptions architecturales, environnementales, paysagères et urbaines de la ZAC La Vallée. Une ferme urbaine est prévue sur l'ouest de la ZAC (figure A ci-dessous), le site du puits de production s'intégrera dans cet espace avec une zone de servicing décompactée.



Figure 12: Plan de masse de la ZAC après aménagement (A), OAP de la ZAC dans le PLU (B)

Le site d'étude est concerné essentiellement par la servitude liée à la protection du patrimoine historique avec le domaine de Sceaux et l'Eglise Saint-Germain l'Auxerrois. Cependant cette servitude implique une attention particulière soit portée à la qualité architecturale et à l'insertion paysagère de nouveaux projets sur le site de la ZAC La Vallée. Les têtes de puits de géothermie seront situées dans des caves, ce qui n'impactera pas le paysage.

Aucune zone Natura 2000 n'a été répertoriée dans un rayon de 5 km autour du chantier.

Une ZNIEFF est située à proximité du site à environ 90 m pour la plus proche; il s'agit de la ZNIEFF de type I: Prairies et Boisements du Parc de Sceaux ID MNHN 110020469 (Cf. Figure 13). Les pâtures mésophiles constituent le seul habitat déterminant de la ZNIEFF et accueillent des insectes déterminants tels que le demi-deuil, la Decticelle carroyée et la Decticelle bariolée. Le parc accueille aussi plusieurs espèces de chiroptères qui gîtent probablement sur place et profitent à la fois des prairies et des zones boisées protégées.

Le site est situé à proximité de l'Espace Naturel Sensible de la coulée verte du Sud Parisien. Cet espace de continuité écologique est pris en compte dans les prescriptions architecturales, environnementales et urbanistes de la ZAC où s'intégrera le futur puits de production.

Le site du chantier de forage n'appartient pas à un Espace Boisé Classé (EBC) et ne comprend pas d'arbres remarquables tel que défini dans le PLU de la commune. Il peut être remarqué que les chantiers de forage et la ZAC n'appartiennent à aucun espace naturel protégé.

Figure 13: Zones naturelles ZNIEFF dans le secteur d'étude

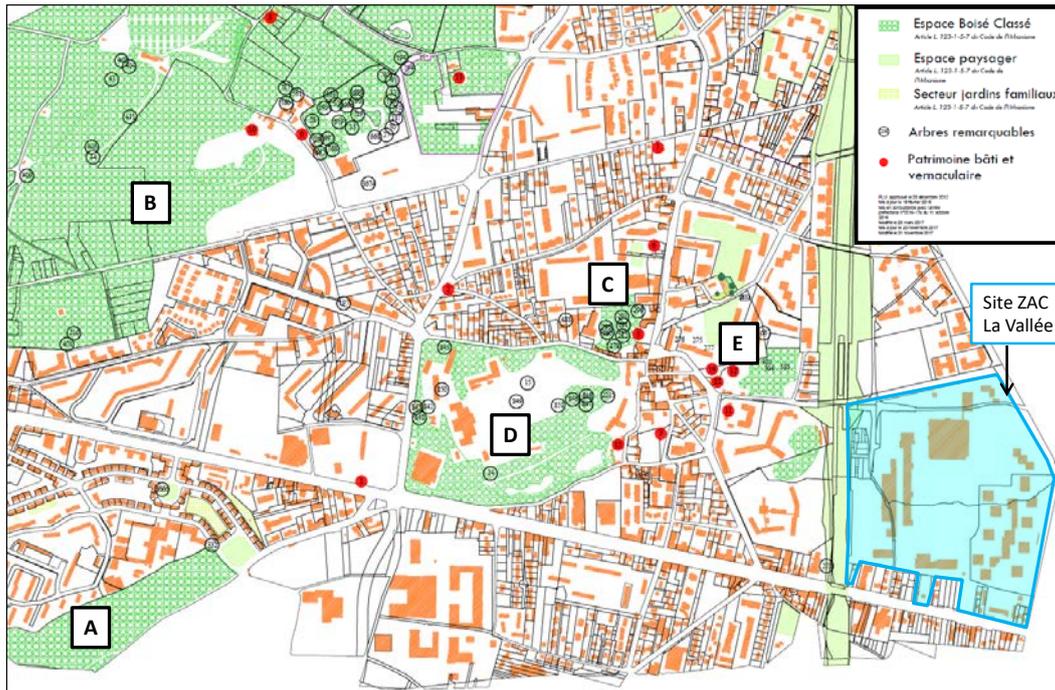


Figure 14: Patrimoine remarquable et Bois Classés de la commune (PLU Châtenay-Malabry)

Un inventaire a été réalisé en 2016 entre avril et août pour préciser la flore et les habitats naturels du site ; où des lépidoptères, les orthoptères, les oiseaux et les mammifères chiroptères étaient présents sur le site concluant que certains éléments du paysage peuvent être assimilés à des éléments support de biodiversité. Ces éléments sont repérés sur la figure ci-dessous et comprennent le talus herbacé à l'ouest, les espaces verts arborés au nord-est et la parcelle privée au sud.

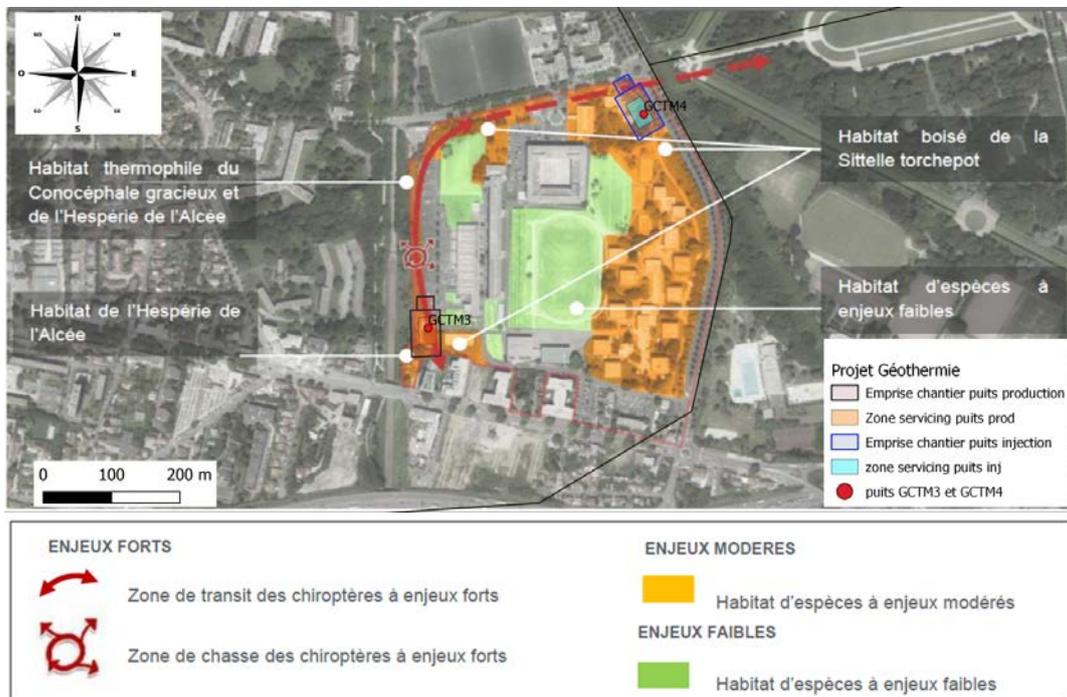


Figure 15: Synthèse et hiérarchisation des enjeux écologiques sur la ZAC (Etude d'impact, Even Conseil, Avril 2018)

Le site du forage de production est proche du talus ouest avec la présence de la zone de transit des chiroptères, de l'habitat boisé de la Sitelle torcheplot et du Conocéphale gracieux. Ce dernier est une espèce protégée et habite le haut du talus ouest. La partie haute du talus est protégée par l'arrêté préfectoral DCPAT n°2019-021 en date du 25 Février 2019, tandis que le talus en lui-même est marqué comme zone tampon mais à faible intérêt écologique. Une partie du chantier de forage se situe dans ce bas talus, la surface du chantier sur ce bas talus a été réduite au maximum afin de limiter l'impact en proximité de l'habitat du Conocéphale gracieux. Le site du puits d'injection est principalement concerné par l'habitat boisé de la Sitelle torcheplot.

Etant donnée la probabilité d'une présence de zone humide, une étude pédologique et végétation a été réalisée par le cabinet Even en 2018 qui a pu déterminer la présence d'une zone humide sur le site de la ZAC. Cette zone de 260 m² sera détruite lors de l'aménagement de la ZAC, une zone humide de compensation de 730 m² sera construite à proximité de la zone humide initiale (chevauchement partiel). Les sites du chantier de forage ne seront pas situés sur ces zones potentiellement humides.

Les enjeux pour la ZAC seront donc de profiter des aménagements pour valoriser le potentiel écologique du site, notamment en préservant la portion boisée d'intérêt fort ou à défaut en reconstituant un milieu comparable, en étudiant les possibilités de conservation des espaces d'intérêt moyen, en permettant le maintien des espèces protégées par reconstitution d'habitats appropriés en milieu ouvert.

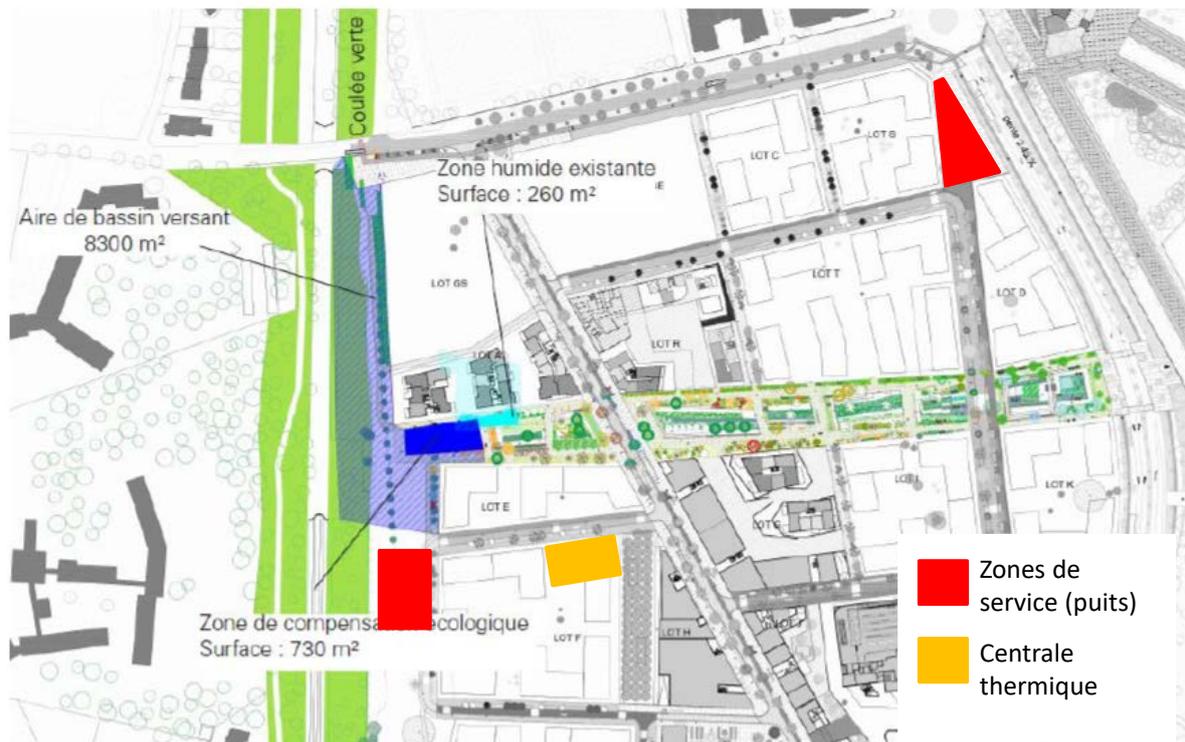


Figure 16: Zone de compensation écologique pour la destruction de la zone humide (Etude d'impact ZAC, Even Conseil, Avril 2018)

Les sites du futur chantier de forage peuvent se révéler intéressants comme habitat permanent pour la faune et la flore et ainsi jouer un rôle dans la continuité écologique au niveau du territoire de Châtenay-Malabry. En phase chantier, la zone aménagée pour installer la machine de forage sera

adaptée pour respecter au mieux les groupements d'arbres recommandés pour la conservation dans le cadre de l'aménagement de la ZAC. Certains devront être abattu afin d'aménager l'espace nécessaire pour le chantier. Cet abattage sera réalisé dans les règles de l'art en matière de période, méthodologie et appel aux associations protectrices des oiseaux (LPO), etc. De même en phase chantier, afin de limiter l'impact des éclairages sur les populations de chiroptères, un changement de spectre lumineux des éclairages est envisagé. L'ensemble des mesures compensatoires ou réductrices feront l'objet d'un Plan d'Assurance Environnement (PAE) dont les préconisations seront imposées aux entreprises de forage dans leur cahier des charges.

En phase exploitation, cette continuité écologique sera traduite au niveau du décompactage de la zone de forage et de du réaménagement de la zone de servicing et de la dalle béton servant pour le forage des puits. **La portance des zones de servicing seront maintenue quel que soit l'aménagement.** Au niveau du puits producteur, une grande partie de la surface de servicing sera rendue à la ferme urbaine à l'issue des travaux. La zone de servicing ne sera pas décompactée mais sera recouverte de terre végétale sur géotextile. Une zone de maintenance légère sera conservée intacte et dédiée uniquement à la géothermie. Au niveau du puits injecteur, la zone fera l'objet d'un aménagement respectant les contraintes environnementales et architecturales en accord avec les engagements du projet de la ZAC ainsi que les qualités de portance de la plateforme.

Le site d'étude n'est pas concerné par les zones de submersion ou de débordement de cours d'eau comme la Seine. Le risque d'inondation par remontée de nappes est considéré comme très fort compte tenu de la présence d'une nappe sub-affleurante.

Selon les cartes d'aléas du BRGM, l'aléa de mouvements de terrain dans le secteur d'étude lié au phénomène de gonflement/retrait des argiles est *a priori* fort et celui lié aux cavités souterraines ou carrières est absent sur le site d'étude. Compte tenu de ces aléas, l'infiltration à la parcelle ne sera pas possible et l'ensemble du projet de la ZAC entraînera une augmentation de l'imperméabilisation des sols.

Un dossier de demande d'autorisation environnementale au titre de la loi sur l'eau a été déposé par la SEMOP Châtenay-Malabry Parc –Centrale en avril 2018. Le système d'assainissement prévu en conséquence permettra :

- De minimiser l'impact de cette imperméabilisation des sols :
 - o d'une part, grâce à des techniques mises en œuvre pour limiter le ruissellement : toitures végétalisées, revêtement de sols poreux, noues, espaces verts, etc.
 - o d'autre part, par la mise en œuvre de dispositifs de stockage, visant à ralentir le ruissellement ou stocker temporairement les eaux pluviales avant de les rejeter selon un débit écrêté de 42,7 l/s : noues de stockage, espaces verts ou minéraux à inondation temporaire et maîtrisée.
- De stocker 5877 m³ environ, pour une pluie d'occurrence 10 ans, pour l'ensemble de la ZAC avec un débit régulé à 2 L/s/ha sur le réseau.
- De respecter les normes de qualité générale des eaux au niveau du rejet au milieu récepteur.
- De gérer sur site, conformément au SAGE de la Vallée de la Bièvre, c'est-à-dire sans rejet au réseau, les petites pluies d'une hauteur de précipitation de 8 mm.
- De compenser, à la suite des conclusions des études en cours, l'actuelle zone humide de 260 m² par la création d'une nouvelle zone humide de 730 m².

Le futur réseau d'eaux usées sera raccordé au réseau existant. Les eaux usées collectées seront traitées à la station de Seine Amont.

La surface dédiée au chantier sera traitée en voirie lourde et imperméabilisée par une membrane géotextile et un enrobé avec un réseau de caniveaux périphériques destiné à drainer les effluents du chantier vers le bourbier par l'intermédiaire d'un bac déshuileur qui piège les effluents polluants. En phase chantier, les dispositions nécessaires sont prises pour qu'il ne puisse y avoir d'entraînement par les eaux pluviales de matières dangereuses ou insalubres dans le milieu naturel (Arrêté du 14 octobre 2016, art 21).

Une fois les travaux de forage et de construction de la centrale réalisés, l'eau de ruissellement sera collectée séparément et sera dirigée vers le réseau d'eau pluviale selon la convention de rejet signée avec le concessionnaire du réseau d'assainissement. Les eaux des caves de têtes de puits et de la centrale seront rejetées dans le réseau d'eau usée par convention avec le gestionnaire du réseau.

Le bruit est une nuisance ressentie par les citoyens du fait de la présence de nombreux équipements de transports. D'après le PLU, la commune est très exposée aux bruits notamment du fait des infrastructures de transport telles que le périphérique d'Ile-de-France (A86), la RD986 et l'aérodrome de Villacoublay situé à environ 7 km du centre-ville. Ces infrastructures engendrent un bruit ambiant moyen supérieur à 75 dB(A) sur une journée (24h) à leurs abords.

Une campagne de mesure acoustique s'est déroulée en 2016 pour préciser le niveau sonore initial du site de la ZAC La Vallée avant le début de l'aménagement de l'éco-quartier. Les mesures ont montré des niveaux sonores globalement faibles, entre 50 et 67 dB(A) de jour, entre 43,5 et 60 dB(A) de nuit.

L'indicateur principal de gêne retenu par 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'indice Lden* est retenu pour caractériser le bruit de fond résiduel. **Indice Lden : moyenne des bruits mesurés la journée et la nuit avec une pondération pour le niveau sonore la nuit afin d'aboutir à une meilleure représentation de la gêne perçue par les riverains tout au long de la journée.*

La comparaison entre le niveau de bruit résiduel hors ZAC et le niveau de bruit ambiant occasionné par l'appareil de forage (valeurs indicatives) montre des valeurs d'émergence inférieures à 5 dB sur la plateforme du puits injecteur et inférieures à 10 dB sur la plateforme du producteur au regard de l'indice Lden (Cf. Figure suivante).

Les valeurs moyennes de bruit, mesurées précédemment sur un chantier de forage et dans son environnement durant la journée de 7h à 22h, sont données à titre indicatif et dépendront fortement du choix de la machine de forage retenue par le maître d'ouvrage.



Figure 17: Rose des bruits des forages (points) avec la carte des relevés de bruit Indice Lden (PLU)

Avant le début des travaux, une évaluation préalable des niveaux sonores et de leur impact sur les populations riveraines sera réalisée par un organisme de contrôle agréé (Arrêté du 14 octobre 2016, art 27).

Dans le cas où le chantier entrainerait des dépassements des niveaux sonores réglementaires, des mesures seront le cas échéant mises en œuvre pour limiter le bruit émergent du chantier afin d'atteindre le plus bas niveau sonore qu'il est raisonnablement possible d'atteindre. Les mesures envisagées sont notamment le confinement des appareils générant le plus de bruit comme les groupes électrogènes, l'installation d'écrans sonores ou murs anti-bruits aux abords du site (murs de paille, bâche acoustique, containers empilés), des mesures régulières (jour, nuit) du bruit et des émergences sonores à différents points (site, habitations).

Face à la proximité des habitations, sur la base du Règlement Général des Industries Extractives (RGIE) qui fixe les émergences sonores admissibles vis-à-vis du personnel de chantier et du décret n°2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage, le maître d'ouvrage s'engage à intégrer la contrainte sonore dans le cahier des charges établi pour la réalisation des travaux. Elle constituera un véritable critère de choix lors de la phase de consultation des entreprises de forage.

Pour ce qui concerne le recensement des impacts des travaux, on identifie durant la période de chantier :

- L'impact visuel sera surtout le fait du mât de forage qui aura une hauteur maximale de 40 mètres environ. Une clôture provisoire atténuera l'impact visuel lié à la présence d'engins et de machine de forages sur le chantier vis-à-vis des piétons et passants.
- Pour ce qui concerne l'environnement sonore, sans toutefois préjuger des effets de site (topographie, conditions météorologiques...), les niveaux sonores, aux abords des chantiers, sont compris entre 59 et 67 dB(A).
- Afin de limiter l'impact sonore du chantier la nuit, les activités les plus génératrices de nuisances sonores seront réalisées uniquement le jour dans la mesure du possible. La principale gêne devrait être liée, le jour comme la nuit, aux chocs des tiges métalliques et au bip de recul des engins de chantier.
- Concernant la circulation routière, le maître d'ouvrage mettra en œuvre des mesures organisationnelles visant à réduire l'impact des travaux au voisinage du site. Une circulation moyenne de 4 camions par jour au cours des 58 jours de chantier de forage est estimée. Les phases d'installation et de repli du chantier, de livraison des tubages, d'évacuation des déblais, de tubage des puits, de cimentation et de diagraphie des puits auront une circulation moyenne de 7 camions par jour.
- Le périmètre des travaux, les cheminements piétons, les accès pour les véhicules légers seront entièrement sécurisés. L'accès au chantier sera interdit au public et les entreprises déclareront leurs travaux et établiront un Plan Particulier de Sécurité, de Prévention et de Santé (P.P.S.P.S).
- Pour ce qui concerne les sols et les eaux de surface, seront mis en place une surface en béton et enrobé imperméable ainsi que des bassins de stockage temporaire des effluents. Les eaux de ruissellement seront collectées par des caniveaux et conduites vers un bassin de décantation. Les sols seront protégés durant les travaux par cette semelle en béton et enrobé imperméable.
- Le risque concernant le sous-sol est la possible contamination d'un aquifère par de l'eau géothermale. Les mesures prévues pour supprimer, réduire ou éviter la survenue d'un tel accident interviennent à trois niveaux : à la conception de l'ouvrage, lors de la réalisation de l'ouvrage, en cours d'exploitation et lors des contrôles périodiques dits réglementaires.

Les déchets et effluents produits pendant les travaux sont de plusieurs types : résidus de boue, cuttings, déchets industriels banals, déchets ménagers, déchets spéciaux, eaux géothermale et de ruissellement. Le traitement de chaque catégorie de déchets se fera dans le respect de l'environnement et des règles en vigueur afin de supprimer tout impact nuisible du chantier.

Compte tenu des éléments précités, du contexte environnemental et de la distance entre le chantier et les espaces naturels protégés (ZNIEFF, Natura 2000 etc..), il apparaît qu'il n'y aura pas d'impact des travaux sur ces espaces naturels. Concernant les nuisances sonores et le risque de dérangement pendant les périodes de nidification ou de migration de certaines espèces, il peut être envisagé que le site ne sera pas une zone favorable à la nidation notamment en raison d'un environnement urbain à fortes activités (chantier du tramway, aménagement de la ZAC et avenues bordant le chantier).

A l'intérieur de l'enveloppe des coûts de travaux et d'exploitation, le Maître d'Ouvrage mettra en œuvre les mesures techniques et organisationnelles visant à réduire ou à supprimer l'impact des travaux de forage ou de l'exploitation au voisinage du site. De plus, le Maître d'Ouvrage pourra également mettre en œuvre des mesures compensatoires visant à réduire ou à supprimer l'impact de l'exploitation de la boucle géothermale (Cf. paragraphe 4.5).

Pour ce qui concerne l'évaluation des effets permanents engendrés par le projet d'exploitation du gîte géothermique :

- L'exploitation de la ressource en eau profonde en circuit fermé, se fera sans nuisance sonore, sans nuisance sur les eaux superficielles et souterraines.
- Compte tenu de la distance entre l'exploitation et les sites Natura 2000 ou ZNIEFF, il apparaît que l'exploitation du gîte géothermal sera sans impact sur ces sites naturels protégés.
- Les installations géothermales étant souterraines, elles ne seront pas visibles depuis l'extérieur de la centrale.
- Les opérations de maintenance n'engendreront pas ou peu d'impact sur la circulation routière.
- L'infiltration des eaux de pluie à la parcelle sera compensée après la réalisation et la construction de la ZAC grâce à l'aménagement d'une zone humide de compensation et un bassin de rétention des eaux de pluies.

Les aspects relatifs à la sécurité et à la santé pour la période des travaux, puis pour la période d'exploitation du gîte géothermal sont traités dans le **Chapitre 6**. Le maître d'ouvrage élaborera un Plan Global de Coordination (PGC) pour la période des travaux, puis un Plan de Prévention (PP) spécifique à la phase d'exploitation. Ces documents fixeront les principes et l'organisation relative à la sécurité et à la santé conformément au Code Minier, au Code du Travail, au Code de l'Environnement.

Le maître d'ouvrage prendra toutes les dispositions nécessaires pour organiser la mission de coordination de la sécurité et de la santé sur le site. Chacune des entreprises intervenantes constituera un Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS) en accord avec le PGC pendant la phase de travaux. En phase d'exploitation, l'intervention d'une seule entreprise sera soumise à un PP sous la responsabilité du chef de site.

Les travaux de forage sont soumis au Règlement Général des Industries Extractives (RGIE), au décret n°2016-1303 du 4 octobre 2016 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).

Les aspects de la protection du public durant le chantier seront abordés dans ce chapitre de par l'accès au public, la circulation des véhicules, les infrastructures et le bruit sur chantier, le stockage de produits divers et la production d'eau ou de gaz géothermaux. Les consignes de sécurité habituelles ainsi que les consignes spécifiques aux types de risques inhérents aux chantiers de forage de puits géothermiques seront respectées dans le cadre de la protection du personnel de chantier.

Des mesures de sécurité seront prises en cas de fuites liées au percement des tubages en exploitation ou en cas de fuites sur les installations en surface de la boucle géothermale.

INFORMATIONS GENERALES



1 INFORMATIONS GENERALES

1.1 Justification de la demande de projet de géothermie profonde à Chatenay-Malabry

1.1.1 Contexte énergétique et choix du type d'énergie renouvelable

1.1.1.1 Contexte et objectifs particuliers de la ZAC La Vallée

Depuis 2014, la Ville de Chatenay-Malabry (92) a initié la reconversion de l'ancien site de l'Ecole Centrale en éco-quartier et d'aménager une Zone d'Aménagement Concerté (ZAC) dite ZAC La Vallée.

Cette opération est réalisée dans le cadre de la première SEMOP (Société d'Economie Mixte à OPération unique) d'aménagement menée en France, détenue par EIFFAGE Aménagement et par la ville de Châtenay-Malabry dont l'objet est l'aménagement du terrain de 21 Ha. Par ailleurs, la Caisse des Dépôts et Consignations est entrée également au capital de la SEMOP.

EIFFAGE Aménagement, entreprise spécialisée dans la réalisation d'aménagements immobiliers, a remporté avec plusieurs promoteurs l'aménagement de l'éco-quartier dans le cadre de la ZAC.

EIFFAGE Energie Systemes a été mandatée dans le cadre de ce projet pour proposer un concept de production et de distribution de chaleur et pour développer (conception, réalisation, financement, exploitation, maintenance) des solutions d'économies d'énergies.

La prescription de la SEMOP (aménageur), en matière d'obligation de Labels et certification (BREEAM pour les bureaux / NF HQE Habitat / E+ C- pour tous les bâtiments, avec un niveau de labellisation E3 C1), a obligé les opérateurs de lots (LIDL et les 4 promoteurs) a poussé plus loin la question de l'énergie (notamment pour atteindre le niveau E3). A ces ambitions, la SEMOP impose un taux d'ENR supérieur à 50% sur le futur réseau de la ZAC.

Les premiers travaux des promoteurs ont donc montré que les solutions « à l'ilot » n'étaient pas optimales en terme :

- d'énergie renouvelable (chaufferie gaz ne permet d'atteindre le 50% d'ENR),
- d'usage (biomasse nécessitant des allers et venues de camions),
- de coût et de bilan carbone (le recours aux panneaux solaires).

L'objectif d'EIFFAGE Energie Systemes prévoit de couvrir à *minima* 60 % des besoins annuels de chauffage de la ZAC par le recours à la géothermie et de s'assurer que la ressource est suffisamment fiable et pérenne pour assurer le fonctionnement sur une durée de 30 ans (durée initiale du permis d'exploitation).

Une étude plus poussée sur le potentiel de développement des énergies renouvelables sur le site, réalisée par le cabinet de conseil Even en 2016, a comparé l'énergie mobilisable via différents types d'énergie renouvelables aux besoins énergétiques des bâtiments de la futur ZAC. Quatre scénarios d'approvisionnement ont émergé des différentes propositions avec 3 options décentralisées fonctionnant avec des chaudières à gaz et utilisant la géothermie superficielle, le solaire ou l'aérothermie en complément, et une option centralisée utilisant une chaudière collective avec géothermie profonde sur PAC (et appoint gaz) desservant un réseau de chaleur et des sous-stations.

Cette dernière option était évaluée intéressante économiquement sur le long terme, notamment si d'autres projets venaient ultérieurement se raccorder à ce réseau, mais également d'un point de vue environnemental en présentant une meilleure diminution des émissions de CO₂.

1.1.1.2 Le guide EnR'CHOIX de l'ADEME

Depuis le sommet de Rio en 1992, les réglementations visant à développer les énergies renouvelables et diminuer les consommations énergétiques pour lutter contre le réchauffement climatique se sont multipliées, incitant les acteurs publics et privés à développer des actions concrètes sur leur territoire. A l'échelle nationale, la loi de programme découle de la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement et a été définitivement adoptée en août 2009. En matière énergétique, cette loi fixe des objectifs pour la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie en 2020 (23%), la baisse des consommations énergétiques des bâtiments d'ici 2020 (au moins 38%). Avec la loi Grenelle 2 et différents documents cadres réalisés pour différentes échelles d'intervention, les nouveaux projets d'aménagement doivent montrer comment leur mode de fonctionnement permettent de contribuer à atteindre ces objectifs nationaux.

De plus, le choix du type d'énergie renouvelable le mieux adapté aux besoins du territoire est en partie guidé par les recommandations de la Direction régionale Ile-de-France de l'ADEME pour réussir la transition énergétique des territoires (i.e alléger la facture énergétique et tendre vers une indépendance énergétique). Son guide EnR'CHOIX accompagne les collectivités, les gestionnaires de patrimoine, les aménageurs dans leur stratégie énergétique en tenant compte des potentiels des territoires et des priorités définies dans le Schéma Régional Climat Air Energie.

Ce guide promeut les solutions énergétiques incorporant la sobriété et l'efficacité énergétique, la mutualisation des besoins, la priorisation des énergies renouvelables pour le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire des bâtiments.

Cette priorisation s'appuie sur les actions prioritaires définies dans le Schéma Régional Climat Air Energie (Cf. Figure 18). Ainsi, après la récupération de chaleur fatale, l'utilisation de la géothermie est une option à privilégier avant la biomasse ou le solaire qui sont des énergies délocalisables.

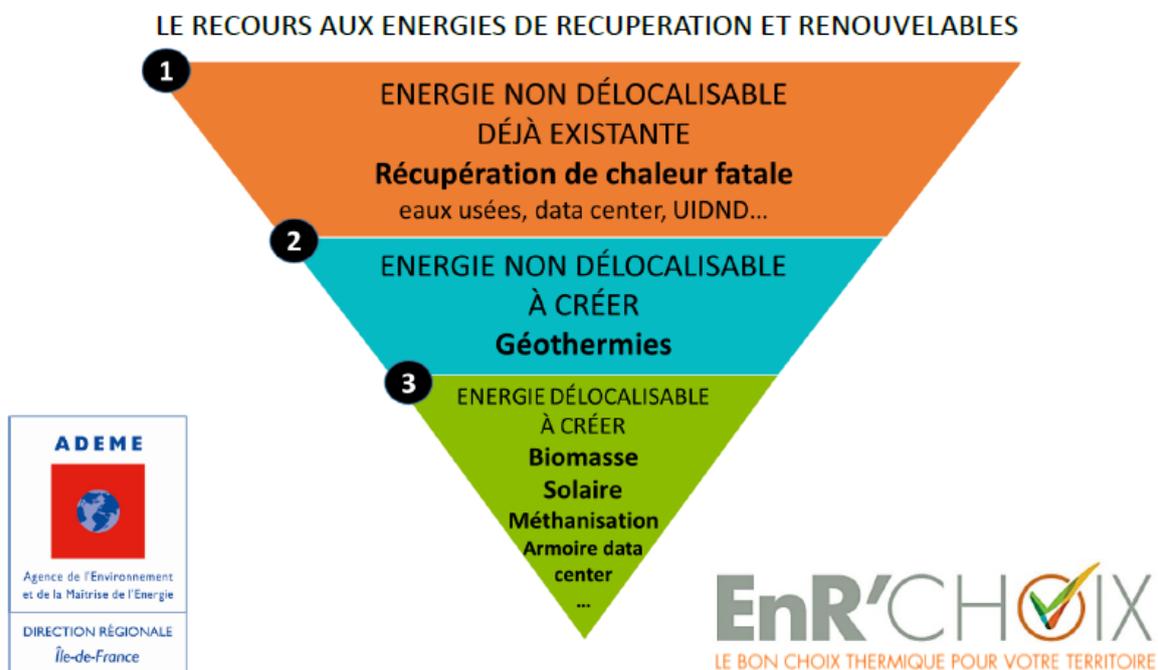


Figure 18 : Aide à la décision pour le recours aux énergies de récupération et renouvelables

La géothermie profonde présente d'indéniables intérêts en Ile-de-France. Cette énergie renouvelable est présente sur le territoire francilien avec des caractéristiques géologiques variables selon les zones géographiques et une accessibilité connue.

De plus, en associant la géothermie profonde avec un réseau de chaleur il est possible d'alimenter rapidement, en une seule opération, plusieurs centaines ou milliers de logements en énergie renouvelable. Ainsi, plus d'une trentaine d'installations en Ile-de-France exploitent cette ressource quotidiennement, permettant ainsi de bénéficier de retours d'expériences significatifs.

La géothermie possède plusieurs avantages que ne possède pas une énergie comme la biomasse :

- Son approvisionnement est lié à un stock d'énergie quasiment infini dont l'utilisation est sans impact pour l'environnement, là où la biomasse est nécessairement liée pour son approvisionnement à des stocks régionaux finis ;
- Le prix de revient de ce type d'énergie renouvelable est avantageux et son prix présente de très faibles variations, là où la biomasse peut dépendre des variations de prix lié à un marché en tension ;
- L'utilisation de la géothermie repose sur des techniques éprouvées, dont le développement est important. Bien que la biomasse soit de plus en plus encouragée, les installations biomasse souffrent en particulier de problèmes connus : convoyeurs mécaniques très sensibles aux résidus typiquement métalliques présents dans la biomasse, combustion très dépendante de la qualité du bois, de son hygrométrie, de sa provenance, etc ;
- L'énergie produite grâce à la géothermie est indépendante des variations climatiques, là où le prix et la disponibilité de la biomasse peut dépendre des forts aléas climatiques.

1.1.2 Contexte territorial et objet de la demande

1.1.2.1 Protocole Ville de Chatenay-Malabry

Dans la perspective du départ programmé de l'Ecole Centrale du campus de Châtenay-Malabry, la Ville et l'Etat ont engagé une réflexion commune dès 2012 afin d'envisager l'avenir du site. Ce protocole a ouvert à la ville la possibilité de faire réaliser une étude d'urbanisme globale, définissant les possibilités d'aménagement et respectant les objectifs de la commune et de l'Etat.

Une programmation de construction a été définie dans le cadre de la réalisation d'une ZAC. Il est prévu la création de 217 000 m² de projets (dont 132 000 m² de logement accession, 16 000 m² de logement social, 33 000 m² de bureaux, 15 000 m² de commerces, 21 000 m² de bâtiments publics (école, crèche, ...).

La collectivité a aussi souhaité donner à cette opération l'ambition de devenir un éco quartier à vocation principalement résidentielle, respectueux de son environnement. Ce quartier devra donc être conçu en prenant en compte les trois piliers du développement durable : le développement économique, le respect de l'environnement et l'aspect social.

Suite à un concours organisé par la ville entre plusieurs cabinets d'architectes, un projet urbaniste, architectural et paysager a été retenu et ajusté de 2013 à 2017.

1.1.2.2 Projet de la ZAC la Vallée

Pour le projet d'aménagement de la ZAC, une mixité sociale et fonctionnelle est recherchée ainsi qu'une qualité paysagère du bâti et des espaces publics, étant donné la proximité avec le site classé du Parc de Sceaux.

En février 2017, EIFFAGE Aménagement a gagné le concours d'aménagement pour créer l'éco-quartier sur 21 Ha ; la ZAC La Vallée. Cet aménagement de la ZAC comprend la création de 216 695 m² de locaux dont 132 496 m² de logement accession, 16 202 m² de logement social, 33 106 m² de bureaux, 14 354 m² de commerces, 20 537 m² de bâtiments publics (école, crèche, ...).

La livraison de l'aménagement est prévue en 18 lots avec 3 phases dont une première livraison courant 2022 et la dernière livraison prévue en 2026.

La SEMOP a mis en place une ASL (Association Syndicale Libre) à l'échelle de la ZAC pour assurer le portage d'un certain nombre de services à l'échelle du quartier (gestion des chambres d'amis partagées, gestion de la conciergerie de quartier, ...). Cette ASL regroupe les promoteurs et utilisateurs de l'Aménagement dont Eiffage Immobilier, Kaufman & Broad, Icade et Lidl.

Pour alimenter les usagers de la ZAC avec une énergie issue majoritairement d'une source d'énergie décarbonnée, l'ASL a décidé de confier la réalisation d'un réseau de chaleur privé à Eiffage Energie Systèmes – Clevia. Le contrat d'exploitation de ce réseau de chaleur sera porté par Flowery Chatenay –Malabry, filiale à 100% d'Eiffage Energie, avec l'ASL comme interlocuteur ad hoc.

Dans le cadre de cet aménagement, un réseau de chaleur urbain sera mis en place pour subvenir aux besoins de chauffage et d'ECS des bâtiments concernés. Le principe de chauffage retenu est une géothermie profonde couplé à des pompes à chaleur, de manière à adapter le régime de température aux émetteurs des bâtiments ainsi qu'à la production d'ECS.

Il est à noter que les bâtiments feront l'objet d'une conception améliorée et seront certifiés E3C1 dans le cadre de la labellisation E+C-.



Figure 19 : Aménagement de la ZAC La Vallée projeté

1.1.2.3 Couverture des besoins de la ZAC par la géothermie

L'énergie projetée, utilisée par les usages de la ZAC équivaut 13,14 GWh/an, pour une année de référence (hors variations saisonnières). Cette projection doit être augmentée des pertes réseaux pour obtenir la quantité de chaleur produite dans les installations de production d'énergie. Ces pertes réseau ont été prises avec un coefficient usuel de 3%, ce qui donne une énergie produite sortie chaufferie d'environ 13,5 GWh/an.

Dans le cadre de la ZAC La Vallée, un engagement relatif à un taux d'énergie renouvelable minimal de 60% a été pris, par l'ensemble des parties intéressées (SEMOP d'aménagement, promoteurs, exploitant du réseau de chaleur).

Ce taux d'ENR ne tient pas compte de l'énergie électrique utilisée dans les compresseurs des PAC et les auxiliaires associés (pompe de charge, pompe d'exhaure, pompe de réinjection) et qui permet d'actionner les machines thermodynamiques.

On peut donc dissocier sur cette quantité d'énergie de 13,5 GWh/an, la quantité d'énergie produite à partir des pompes à chaleur (et donc de la source géothermique utilisée comme source froide pour l'évaporation du fluide frigorigène des PAC), de celle produite directement par la combustion de gaz naturel utilisée en appoint / secours de la centrale PAC.

Les projections réalisées en fonction des monotonies d'utilisation de chaleur (chauffage + ECS) nous conduisent aux couvertures énergétiques suivantes :

- Production réalisée par les PAC : 12,14 GWh/an (soit un taux de couverture PAC de 85 %) ;
- Production réalisée sous chaudière : 2,03 GWh/an (soit un taux de couverture gaz de 15 %).

En supposant une température du gisement géothermique visé à 50°C, hypothèse légèrement pessimiste pour l'aquifère du Lusitanien, les régimes de température à l'évaporateur de la PAC, fixés à un régime 63°C/48°C, donnera un COP prévisionnel de la PAC à 4,8.

Les consommations électriques des PAC et des auxiliaires des PAC ont donc été évaluées à 2,5 GWh/an. Le taux d'ENR, calculé sur la base des consommations en énergies électriques et gaz, divisée par la quantité d'énergie livrée aux sous-stations, est ainsi évalué à 61,1 %.

1.1.2.4 Objet de la demande

Suite à la réalisation d'une étude de préféabilité pour une opération de géothermie à l'Albien ou Néocomien, CFG a conclu :

- à exclure la sollicitation de la nappe de l'Albien compte tenu de son plus faible niveau de température ($30 \pm 1^\circ\text{C}$) impliquant une limite du niveau de puissance thermique disponible et des débits d'exploitation importants de l'ordre de 200 m³/h.
- à la faisabilité d'exploiter la nappe du Néocomien pour couvrir les besoins de la ZAC moyennant des débits d'exploitation de l'ordre de 150 m³/h.
- à la particularité des aquifères de l'Albien/Néocomien favorables à l'exploitation à des débits importants mais limités par la capacité du réservoir à la réinjection.

Les difficultés d'injectivité, les précautions particulières d'ingénierie de forage et le faible retour d'expérience d'exploitation sur ces aquifères sableux de l'Albien/Néocomien ont conduit CFG à proposer le captage d'un réservoir carbonaté similaire au Dogger, présentant un caractère exploratoire.

Le captage du réservoir du Lusitanien est largement compatible avec les besoins en chaleur de la ZAC de 4,5 MW et permettra d'envisager de futurs raccordements hors de la ZAC La Vallée.

Le présent document constitue le dossier conjoint comportant deux demandes :

- La demande concernant l'octroi d'un permis de recherche d'un gîte géothermique basse température (inférieur à 150°C) au Lusitanien sur la commune de Chatenay-Malabry.
- La demande d'ouverture de travaux de forage correspondant à la réalisation des nouveaux puits producteur et injecteur du doublet géothermique au Lusitanien de la ZAC de la Vallée.

Ces demandes ont pour objectif de garantir l'accès à la ressource du Lusitanien visée par le projet et de commencer la phase des travaux de forage.

Ces demandes visent aussi à garantir l'accès au Néocomien dans le cas où une très faible perméabilité du Lusitanien obligerait un repli du forage sur cet aquifère moins profond et potentiellement plus producteur.

Les forages, ouvrage vertical pour le producteur et incliné pour l'injecteur, seront dédiés à la production puis à la réinjection de l'intégralité du débit dans l'aquifère d'origine : le Lusitanien.

Le site d'implantation des forages sera situé dans l'enceinte de la ZAC sur deux plateformes distinctes. Le puits injecteur se situera sur la partie Nord-Est de l'éco-quartier (près du lot S), le puits producteur se situera au Sud-Ouest près du lot F (Cf. Figure 23).

Le terrain d'accueil du chantier de forage pour le puits de production est constitué des parcelles n°51 et n°52 avec une surface d'environ 3 000 m² et une surface de stockage de 500 m². Pour le puits d'injection, l'aire du chantier de forage concernera les parcelles n°124, 126, 127 et 133 avec une surface similaire.

La SEMOP (Société d'Economie Mixte à Opération Unique) Chatenay-Malabry Parc-Centrale possède l'intégralité de ces terrains et les espaces publics seront rétrocédés à la ville de Chatenay-Malabry à la fin des travaux de la ZAC.

Les figures ci-après présentent le secteur d'étude et le site qui correspond à l'emplacement des futurs forages :

- sur une vue aérienne complétée par les limites administratives et le nom des communes limitrophes (A) ;
- sur fond de plan IGN (B) ;

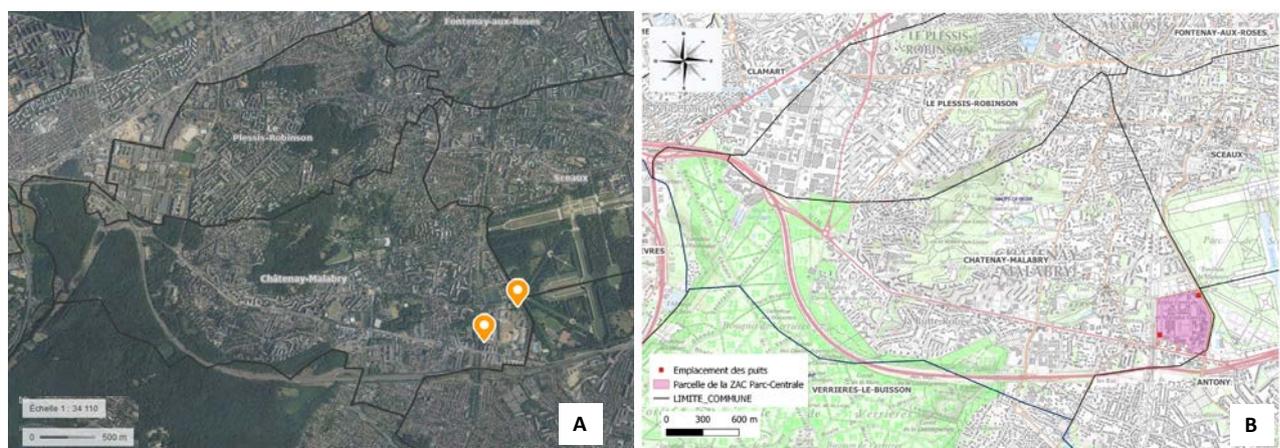


Figure 20: Secteur d'étude de Chatenay-Malabry sur vues aériennes avec limites administratives

1.1.3 Contenu du dossier

Le dossier détaille les aspects techniques et environnementaux relatifs au forage faisant l'objet de la demande de permis de recherche et de la demande d'autorisation d'ouverture de travaux.

Dans sa structure, il constitue l'armature de la future demande de permis d'exploitation qui sera complétée par les informations obtenues à l'issue des travaux de forage.

Vu le Code Minier et vus 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 6 juin 2006 relatif à l'ouverture des travaux miniers et à la police des mines :

La partie 1 de ce document 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 et le financement du projet ;
- le planning prévisionnel ;
- les références réglementaires ;
- l'identification des risques et contraintes techniques et organisationnelles.

La partie 2 de document concerne la demande du permis de recherche. Elle comprend :

- le cadre général de l'opération et les caractéristiques du réservoir du Lusitanien ;
- la description de l'opération et l'emprise du permis sollicité ;
- la description des dispositifs de mobilisation de la ressource ;
- la description du réseau de surface géothermique ;
- le débit et le volume d'exploitation prévisionnels ;
- la modélisation des impacts hydraulique et thermique de l'exploitation sur la durée du permis sollicité
- la description des contrôles périodiques et du suivi de l'exploitation ;
- les conditions d'arrêt de l'exploitation du gîte géothermique.

La partie 3 de ce document concerne la demande d'ouverture de travaux. Elle comprend :

- un mémoire exposant les caractéristiques principales des travaux prévus ;
- l'exposé des méthodes de forages envisagées.

La partie 4 traite de l'impact du projet sur l'environnement d'une manière globale, à savoir :

- L'analyse des impacts temporaires liés à la période de travaux et les mesures compensatoires envisagées entrant dans le cadre de la demande d'ouverture des travaux.

- L'analyse des impacts permanents liés au fonctionnement de l'exploitation géothermique et les mesures compensatoires envisagées entrent dans le cadre de la demande du permis de recherche.

Cette partie comprend :

- Les auteurs de l'étude d'impact et les références bibliographiques ;
- la conception et le dimensionnement du projet ;
- la description de l'état initial du site ;
- l'analyse des effets du projet ;
- les mesures compensatoires destinées à supprimer, atténuer ou compenser les effets négatifs.

La partie 5 analyse les effets cumulés du projet avec d'autres projets connus sur le territoire de Chatenay-Malabry.

La partie 6 des aspects relatifs à la sécurité et à la santé pour la période des travaux, puis pour la période d'exploitation du gîte géothermal.

1.1.4 Pertinence du projet au stade de l'étude de faisabilité

1.1.4.1 Adéquation ressource et besoins en surface

Etant donné les besoins de puissance, la sollicitation de la nappe souterraine à sélectionner est estimée à 4,5 MW en chaud. Trois aquifères ont été candidats pour couvrir ces besoins:

- Le captage de l'aquifère de l'Albien atteindrait au maximum 4,5 MW avec des débits de prélèvement de 200 m³/h mais est limité par la capacité de réinjection de l'aquifère à 150 m³/h maximum ; soit une puissance mobilisable maximale de 3,5 MW;
- Le captage de l'aquifère du Néocomien permettrait d'atteindre une ressource plus chaude (+6 °C min) ce qui compenserait les plus faibles débits d'exploitation (150 m³/h maxi) ;
- Le captage de l'aquifère du Lusitanien est compatible avec les objectifs du projet avec une puissance thermique conforme aux besoins et la température du gisement plus chaude estimée à 55 +/- 5°C. Les débits prélevés seront limités à 150 m³/h.

Les difficultés d'injectivité, les précautions particulières d'ingénierie de forage et le faible retour d'expérience d'exploitation des aquifères sableux de l'Albien/Néocomien ont conduit CFG à proposer le captage d'un réservoir carbonaté similaire au Dogger. Un doublet au Lusitanien à caractère exploratoire est proposé dans le cadre de cet aménagement avec un repli possible sur l'horizon géothermique du Néocomien.

Cette solution permet de répondre aux besoins en calories en considérant un débit exploitable du Lusitanien estimé entre 100 à 150 m³/h:

- Avec un débit maximal Q=150 m³/h et un prélèvement de calories sur la ressource de $\Delta T=35^{\circ}\text{C}$, la puissance thermique maximale est calculée à 6,1 MW ;

- Avec un débit moyen $Q=125 \text{ m}^3/\text{h}$ et un prélèvement moyen de calories sur la ressource de $\Delta T=30^\circ\text{C}^*$, la puissance thermique moyenne est calculée à 4,3 MW.

La puissance calorifique maximale escomptée de 6,1 MW reste une valeur attendue ponctuellement et permettra d'envisager de futurs raccordements hors de la ZAC La Vallée.

Il conviendra de veiller à avoir des retours réseau les plus bas possibles afin de valoriser la ressource et d'améliorer le rendement de l'installation. L'exploitant optimisera ainsi le rendement de son installation en fonction des saisons et des besoins du réseau.

1.1.4.2 Spécificité exploratrice du projet

Aucun doublet géothermique ne cible actuellement l'aquifère du Lusitanien dans le Bassin Parisien, mais il présente :

- Une productivité reconnue lors de la réalisation de forage au Dogger à Orly Gazier et à Ivry-sur-Seine ;
- Une productivité avérée lors de travaux de réhabilitation des doublets géothermiques à Alfortville, Meaux, Fresnes;
- Des niveaux géologiques reconnus lors de la réalisation de forages et notamment lors du forage au Dogger de Chatenay-Malabry, Bagneux, Fresnes...

Compte tenu du caractère exploratoire du projet au Lusitanien, une solution de repli sur l'aquifère du Néocomien est prévue en cas d'échec du forage au Lusitanien. En fonction du succès ou de l'échec du premier puits foré verticalement en ciblant l'aquifère du Lusitanien, le logigramme suivant s'appliquera (Cf. Figure 21):

- En cas de succès, un second ouvrage dévié sera réalisé. Il n'est pas envisagé que le second puits soit un échec compte tenu du contexte géologique régional et de la nature du réservoir ;
- En cas d'échec, un repli du forage sera effectué au Néocomien puis un second puits au Néocomien sera réalisé. Il n'est pas envisagé d'échec total au Néocomien étant donné le retour d'expérience sur l'opération du Plessis-Robinson (92).

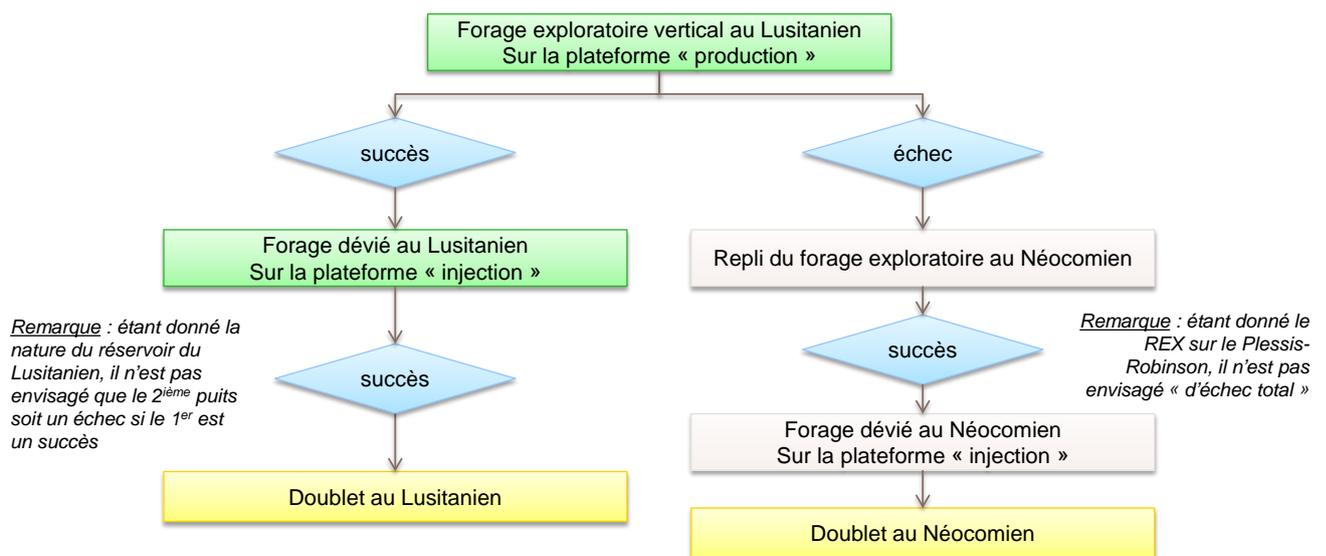


Figure 21 : Logigramme du projet géothermie au Lusitanien avec repli au Néocomien

1.1.4.3 Disponibilité des moyens d'utilisation de la ressource

Aujourd'hui, les mesures mises en œuvre dans le cadre du Fonds Chaleur / AAP Chaleur Renouvelable sont incitatives et permettent d'améliorer la rentabilité des projets de géothermie tel que celui de Chatenay-Malabry, en particulier eu égard au coût de l'énergie chez l'abonné.

Par ailleurs, les fonds de garantie SAF court terme et long terme apportent au maître d'ouvrage une couverture du risque financier également incitative (entre 65 et 90% du montant maximal garanti des travaux de forage sont pris en charge en cas d'échec total).

Concernant les travaux de forage, les appareils de forage susceptibles d'atteindre le Lusitanien avec des diamètres et des tubages nécessitent d'utiliser une surface de 3 000 m² et une surface de stockage de 500 m². Moyennant des travaux préparatoires en termes d'accès et de nivellement, les sites envisagés pour l'implantation des chantiers présentent des caractéristiques compatibles avec le projet.

Durant l'exploitation, une aire vierge de toute plantation ou construction pérenne d'environ 1 000 m² devra être aménagée autour des futures têtes de puits.

1.2 Qualité du demandeur

1.2.1 Fiche d'identité du demandeur

Le Maître d'Ouvrage est la société Flowergy - Chatenay-Malabry, filiale à 100% d'Eiffage Energie Systèmes.

La société Flowergy - Chatenay-Malabry est une société de projet dédiée au financement, la conception, la réalisation, l'exploitation et la maintenance du projet de la ZAC La Vallée, sous la forme d'une Société par Actions simplifiée à Associé Unique (SASU).

Elle est le véhicule mis en place par le Groupe Eiffage et plus précisément la branche Eiffage Energie Systèmes qui la capitalise via la société Eiffage Energie Systèmes – Régions France, qui est donc son seul et unique actionnaire.



Le pétitionnaire proposé est une société de projet Flowergy Chatenay-Malabry, SASU au capital de 100 € immatriculée depuis le 22/12/2017 au RCS de Versailles sous le n° 834 242 976. L'actionnaire de la SASU est Eiffage Energie Systèmes – Région France. Eiffage Energie Systèmes est une des branches du groupe Eiffage (Cf. Annexe 7.1).

Raison sociale :

- Forme juridique : Société par action simplifiée à Associé unique
- Adresse : 3-7 place de l'Europe, 78 140 Velizy-Villacoublay
- Téléphone : 01-71-59-13-57
- Président : Olivier Miens. Il est également Directeur Général Adjoint de la branche Eiffage Energie Systèmes

- Code APE : Ingénierie études techniques (7112 B)
- N°Siret : 83424297600019
- Responsable du suivi :
 - M. Benoît Martin : benoit-louis.martin@eiffage.com
 - M. Edouard Stehelin : edouard.stehelin@eiffage.com
 - M. Antoine Hego : antoine.hego@eiffage.com

1.2.2 Justification des capacités techniques et financières

1.2.2.1 Le maître d'ouvrage

Le groupe Eiffage, via la Branche Eiffage Energie Systèmes, met les financements, ressources et compétences requises à disposition de Flowergy Chatenay-Malabry pour l'exercice de ses fonctions.

Les chiffres d'affaire d'Eiffage Energie Systèmes - Régions France sont les suivants :

- 2016 : 63 799 751€
- 2017 : 82 515 490€
- 2018 : 62 264 580€

Les compétences du groupe Flowergy et Eiffage Energie Systèmes sont présentés en Annexe 7.2.

1.2.2.2 L'assistance technique sous-sol

Eiffage Energie Systèmes a retenu le bureau d'étude CFG pour les études et de l'ingénierie « sous-sol / ressource géothermale », ainsi que l'ensemble des démarches administratives et réglementaires, ce qui se traduit par les missions suivantes :

- Etudes de projet et de faisabilité;
- Constitution des dossiers administratifs :
- Demande de permis de recherche ;
- Demande d'ouverture de travaux de forage.

Le bureau d'études CFG, filiale de l'EPIC BRGM, est spécialisé en géothermie de forages profonds depuis 1985.



3 Avenue Claude Guillemin - BP 46429
45064 Orléans Cedex 2

CFG est une société d'ingénierie et de services, spécialisée dans les travaux du sous-sol pour la géothermie profonde :

- Filiale à 100 % du BRGM, elle a développé son expertise et son savoir-faire dès le début des années 80 où elle a été pionnière dans le développement des installations géothermales associées aux réseaux de chauffage urbain de la région parisienne.
- Ses 20 ingénieurs et techniciens spécialisés constituent un pôle d'excellence nécessaire à la réussite de projets de géothermie destinés à la production de chaleur ou d'électricité et couvrent toutes les thématiques : géologie et hydrogéologie, forage et ingénierie de réservoir, géochimie et traitement anticorrosion, pompage, conversion de chaleur et thermodynamique, management d'avant-projet et de projet.
- L'expertise reconnue de CFG dans les domaines de la corrosion et du traitement chimique des fluides géothermaux a permis un transfert de ses compétences vers des secteurs autres que la géothermie, répondant ainsi à la demande des industriels de la chimie et de la pétrochimie.

Pour le projet de géothermie de Chatenay-Malabry, la chef de projet identifiée est Mme Anne-Lise Gille (al.gille@cfg.brgm.fr) et sa responsable Mme Marie-Hélène Beddelem (mh.beddelem@cfg.brgm.fr).

L'Annexe 7.3 rassemble les informations commerciales, les références et la plaquette de la société CFG Services.

1.2.2.3 L'assistance technique surface

Pour les aspects de surface liés au dimensionnement des besoins du futur réseau de chaleur la ZAC, Flowergy a fait appel au bureau d'études S2T, spécialiste dans le domaine de l'énergie tant sur des audits et diagnostics techniques que sur la gestion énergétique. S2T a réalisé l'évaluation aussi bien en terme de puissance appelée que d'énergie consommée pour chaque lot, chaque phase et la totalité du projet ainsi que la réalisation des monotonnes associées.

La Maîtrise d'œuvre surface est assurée directement par Eiffage Energie Systèmes, via son bureau d'études intégré et des sous-traitants qualifiés sur des missions ponctuelles.

1.3 Contexte et description du projet de valorisation de la ressource

1.3.1 Généralités

Suite au déménagement de l'Ecole Centrale sur le plateau de Saclay, la ville de Chatenay-Malabry a préparé la reconversion du site. Dans le cadre de cette reconversion, la ville a choisi un projet urbain puis un projet d'aménagement constitué par une ZAC s'étendant sur les 21 hectares du site.

Pour alimenter les usagers de la ZAC avec une énergie issue à minima à 60 % d'une source d'énergie décarbonnée, les promoteurs et utilisateurs de l'Aménagement (Eiffage Immobilier, Kaufman & Broad, Icade et Lidl) ont décidé de se regrouper sous la forme d'une Association de Syndicat Libre (ASL) et de confier la réalisation d'un réseau de chaleur à Eiffage Energie Systèmes.

Cette démarche était motivée par une convergence de facteurs favorables à l'échelle de la commune:

- Elle est située au cœur du bassin sédimentaire parisien, territoire disposant d'une richesse énergétique souterraine ;

- Elle dispose d'un tissu de population qui semble suffisamment dimensionné au regard des besoins de surface nécessaires à la mise en œuvre d'une solution énergétique à base de géothermie profonde ;
- De nombreux projets d'aménagement sont actuellement en cours et/ou sont programmés à moyen termes : création d'une nouvelle Zone d'Aménagement Concertée (ZAC), création du Quartier Europe, arrivée du tramway (ligne T10), aménagement d'une coulée verte.

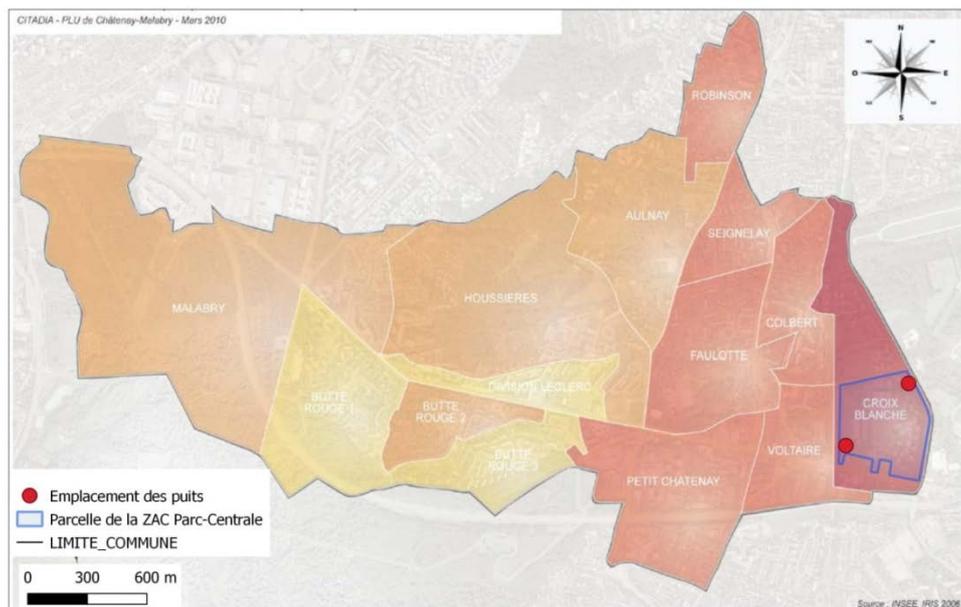


Figure 22: Localisation des sites de forage sur la commune de Chatenay-Malabry

Après étude des besoins de chauffage des bâtiments concernés, le principe de chauffage retenu est une géothermie profonde couplé à des pompes à chaleur, de manière à adapter le régime de température aux émetteurs des bâtiments.

1.3.2 Description sommaire de l'opération de géothermie projetée

Le projet consiste en la réalisation d'un doublet de géothermie, de l'installation d'une chaufferie centralisée contenant des PAC et de la création d'un réseau de chaleur privé. L'objectif du futur projet de géothermie envisagé sur la ZAC de Chatenay-Malabry est d'atteindre la puissance maximale d'environ 4,5 MW nécessaire à l'alimentation de la totalité de l'Aménagement.

Pour accéder à la ressource géothermale, la solution présentant la plus grande pertinence technico-économique est la réalisation de deux puits géothermiques exploratoires ciblant le Lusitanien avec une solution de repli ciblant le Néocomien. Ainsi, le puits d'exhaure est prévu dans l'angle sud-ouest de la ZAC, à proximité immédiate de la future ferme urbaine. Le puits d'injection est prévu dans l'angle Nord-Est de la ZAC, à proximité immédiate de « la Maison du projet » (lieu hébergeant la maquette du projet de la ZAC et ouvert au public) et du parc de Sceaux.

La liaison géothermale entre la tête de puits d'exhaure et le local PAC d'une part et ce dernier et le local PAC et le puits de réinjection seront réalisés sous voirie.

Un réseau primaire de chaleur sera disposé sous voirie, sur certains tronçons parallèlement au réseau géothermal. Ce réseau permettra de desservir à termes une trentaine de sous-stations

implantées dans les bâtiments concernés (habitation sociale, logements, commerces, crèche, bureaux...). La chaufferie centralisée sera positionnée dans le lot F (Voir plan ci-après). Cette centrale est composée des équipements complémentaires au doublet géothermique permettant de produire l'eau chaude du réseau de chauffage urbain et desservir l'ensemble de la ZAC. Les équipements mis en jeu sont essentiellement :

- Les PAC, qui permettent au condenseur de réchauffer les retours réseaux jusqu'à la température de 63°C et à l'évaporateur de refroidir l'eau du réseau géothermique via un échangeur de barrage à faible pincement.
- Des chaudières gaz permettant d'assurer l'appoint pour les jours les plus froids, lorsque la ressource géothermique n'est pas suffisante ; ces chaudières assurent également un secours de la ressource géothermique en cas de maintenance du doublet géothermique,
- Des équipements complémentaires classiques dans ce type d'installation, dont notamment, le groupe de maintien de pression du réseau de chaleur, les pompes du réseau de chaleur, les pompes de charge des condenseurs et évaporateurs des PAC, les pompes de charge des chaudières, les équipements électriques CFO et CFA et tous les autres matériels qui concourent au fonctionnement de la chaufferie centralisée.

La chaufferie centralisée est soumise à déclaration au sens de la rubrique ICPE 2910-A, dans le mesure où la somme des puissances des générateurs de chaleur est inférieure à une puissance de 20 MW_{th}.



Figure 23: Plan de l'opération de géothermie projetée dans la ZAC La Vallée

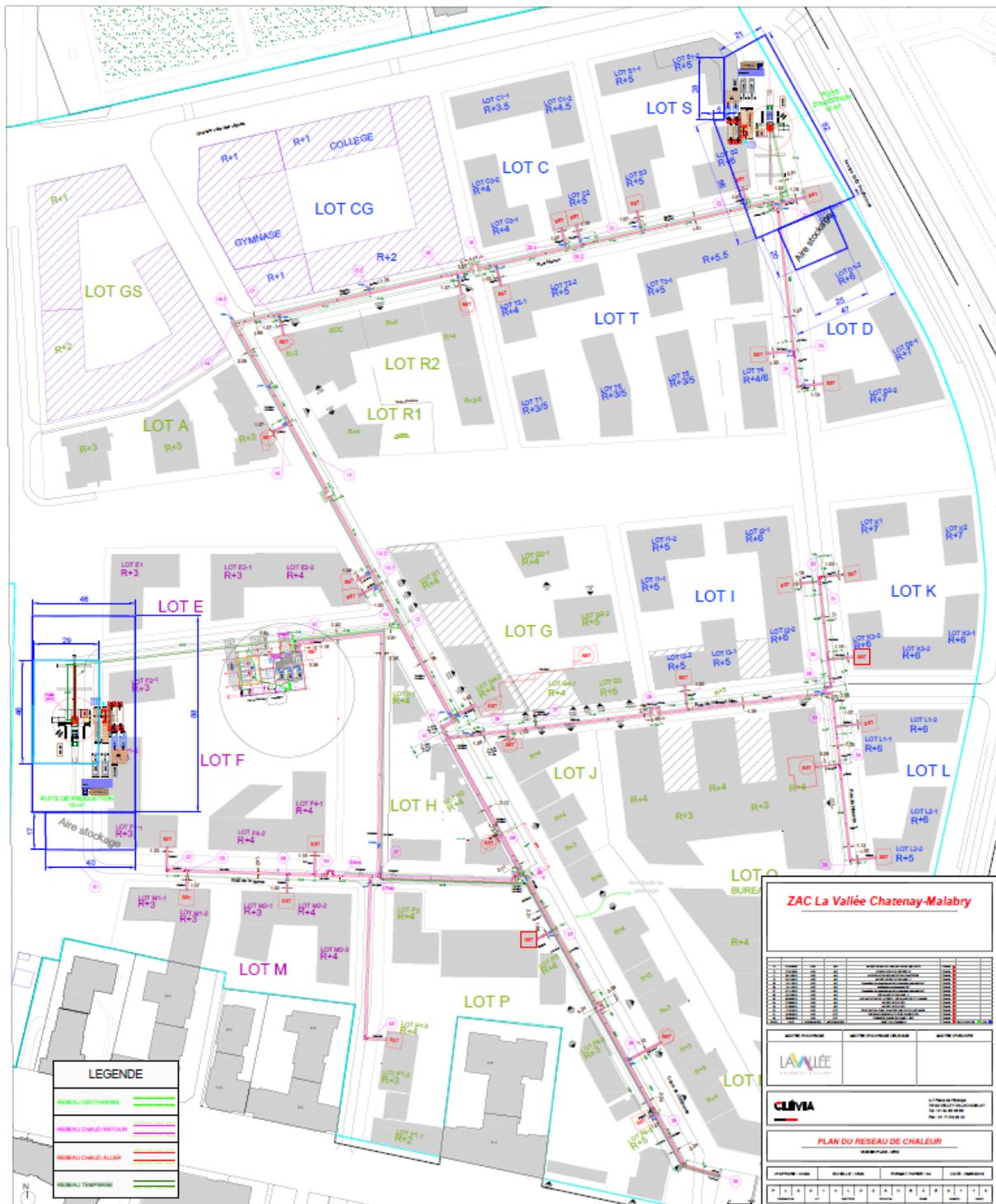


Figure 24: Plan du réseau de chaleur projeté sur la ZAC

1.4 Budget prévisionnel et plan de financement du projet

1.4.1 Coûts d'investissement sous-sol

Ce chapitre présente le budget prévisionnel des travaux de forage et d'équipements présentés lors de l'étude d'avant - projet détaillé (Cf. Rapport 19CFG93/VB).

Le prix des travaux de réalisation des deux puits du doublet géothermique est estimé à environ **5 490 k€ HT** sur la base d'une rémunération en régie. *Ce coût inclut les imprévus ou aléas de chantier (environ 10 % du montant des travaux). Il n'inclut pas la maîtrise d'œuvre sous-sol, l'assurance « Tous Risques Chantier », et la cotisation à la couverture « court terme » de la SAF-Environnement.*

Le coût d'équipements de la future boucle géothermale est estimé à **1 600 k€ HT** (hors coûts d'installation et ingénierie).

Ces coûts, à caractère fortement évolutif compte tenu de l'évolution des coûts des matières premières (acier, fibre composite, fuel) sont des coûts ajustés au 1er juillet 2019 à l'issue de l'étude d'avant-projet.

Le coût des travaux de forage a été déterminé à partir de l'estimation des postes suivants :

- Fourniture, stockage, transport des tubages et de leur accessoire ;
- Plateforme, génie civil, avant puits, cave et remise en état final du site ;
- Fourniture de consommables (carburant, outils de forage) ;
- Forage et service intégrés sous forme de régie contrôlée;
- Cimentation des tubages ;
- Boue et contrôle des solides et des effluents ;
- Suivi géologique ;
- Test de fin de forage (essai de puits et acidification du réservoir) ;
- Réalisation des diagraphies.

Le coût afférent aux équipements de surface comprend:

- La fourniture de la pompe de production (GEI) avec sa colonne d'exhaure et la pompe de réinjection ;
- La fourniture des éléments de robinetterie, variateurs, transformateur et câbles électrique de surface ;
- L'équipement des caves de puits et la canalisation géothermale extérieure et intérieure ;
- Les deux échangeurs à plaques et le dispositif de filtration de l'eau géothermale ;
- L'équipement électrique intérieur à la centrale (armoires TGBT, transformateur, câbles BT, etc.).
- L'équipement d'un tube de mesure de rabattement dans le puits producteur, installé avec la colonne d'exhaure.

En cas de repli au Néocomien, les coûts de forage seront portés à environ 7 130 k€ HT sur la base d'une rémunération en régie. Ce coût inclut les imprévus ou aléas de chantier (environ 15 % du montant des travaux). Il n'inclut pas la maîtrise d'œuvre sous-sol, l'assurance « Tous Risques Chantier

», et la cotisation à la couverture « court terme » de la SAF-Environnement. Le coût d'équipements de la boucle géothermale a été estimé à environ 355 k€ HT (hors coûts d'installation et ingénierie).

1.4.2 Identification des risques de variation des coûts

Au cours des travaux, les modifications et/ou ajustements du programme de forage et de la coupe technique (approfondissement d'une phase, longueur des tubages,...) affecteront la majorité des postes en fonction de la durée ou des longueurs modifiées.

Les surcoûts liés à des incidents de chantier qui induisent des opérations complémentaires, des instrumentations, voire le reforage de certaines phases, doivent faire l'objet d'une couverture ad hoc via la souscription d'une assurance « Tous Risques Chantier » (TRC) ou « Tous Risques Forage » (TRF).

L'assurance chantier de forage est en tout état de cause obligatoire.

1.4.3 Coûts d'exploitation du doublet géothermique

Les coûts annuels liés à l'exploitation géothermique sont estimés entre **255 et 383 k€ HT** pour le doublet sur une base de calcul d'une période de 30 ans (valeur juillet 2019, hors ingénierie et assurances) et selon une hypothèse haute de productivité/injectivité du réservoir à partir des postes suivants :

- Maintenance forage et les consommations (P1) incluant :
 - Consommation électrique de pompage (producteur et injecteur).
 - Consommation en inhibiteur de corrosion.
- Maintenance des équipements de surface (P2-P3) incluant :
 - Les contrats de comptage thermique, télégestion et le petit entretien.
 - Les diagraphies réglementaires du puits producteur et injecteur.
 - Le suivi réglementaire des installations (forfait).
 - Le petit entretien de la boucle géothermale (conduites de surface...) et la maintenance de la station de traitement.
- Remplacement et le gros entretien (P3) incluant :
 - Les remplacements du groupe de pompage immergé et de la colonne d'exhaure.
 - Les remplacements des têtes de puits.
 - Le démontage, nettoyage, ressuage et le remplacement des plaques et des joints des échangeurs de chaleur.
 - L'entretien et le renouvellement des variateurs, transformateurs et robinetterie.
 - Les remplacements du groupe de pompage d'injection, des capteurs, des vannes maîtresses et des brides de suspension.
 - La maintenance de la station de traitement et de la télégestion.

1.4.4 Coût général de l'opération

Pour les travaux relevant directement de la création du nouveau doublet géothermique, le montant des investissements s'élève à environ 20.000 k€ HT.

Ce coût comprend la réalisation du gros œuvre et du second œuvre de la chaufferie, hors process pour 3.000 k€ H.T., la réalisation du doublet géothermique, de l'équipement des puits, de la MOE sous-sol, de l'installation des équipements de la boucle géothermale, pour 8.000 k€ H.T., le coût d'investissement des équipements de process de la chaufferie centralisée pour 4.780 k€ HT,, la création des sous-stations pour 2.000 k€ HT et la réalisation du réseau de chaleur pour 2.220 k€ HT.

1.5 Financement du projet, subventions et garanties

1.5.1 Organisation du projet

L'organigramme du projet et les études relatives au projet sont présentés sous les schémas ci-dessous.

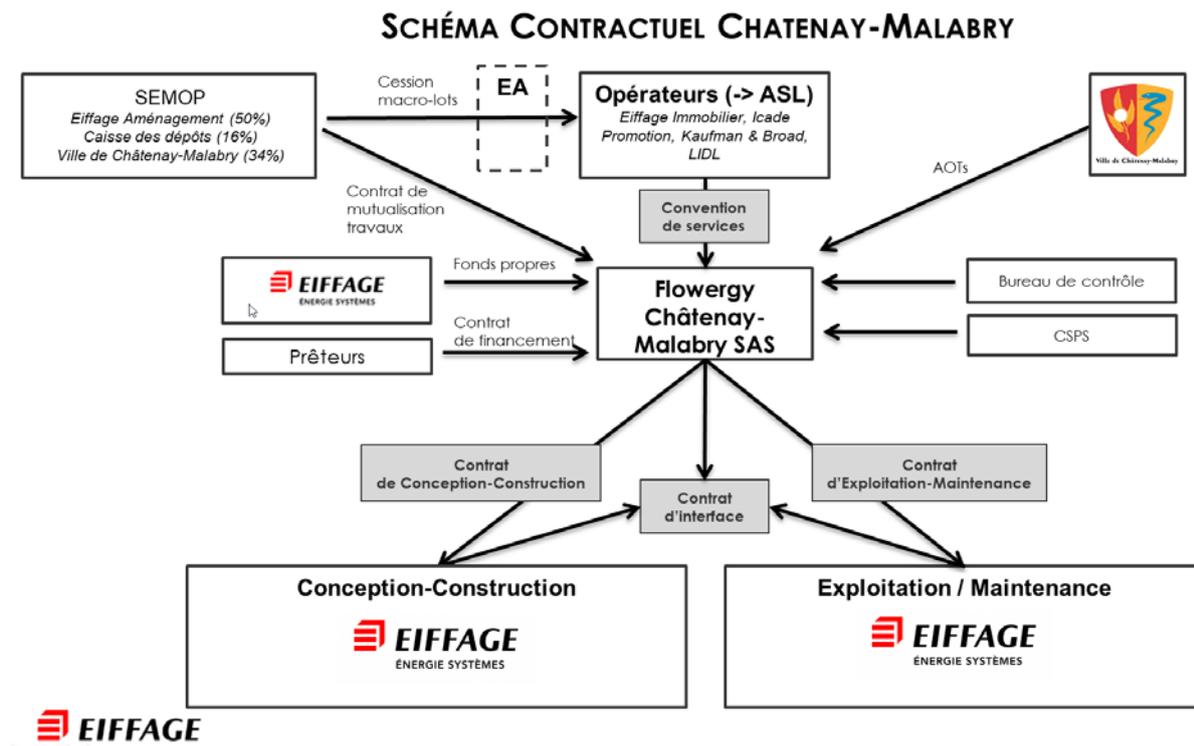


Figure 25: Organigramme du projet de géothermie de la ZAC Chatenay-Malabry

La SEMOP a pour objet l'aménagement de la ZAC La Vallée de Chatenay-Malabry. Elle a été pétitionnaire dans le cadre de la procédure d'autorisation Loi Unique sur l'Eau. Néanmoins, la SEMOP n'a pas d'actions, ni d'intérêts sur l'établissement du réseau de chaleur.

1.5.2 Financement du projet

Le futur réseau de chaleur est un réseau privé dont le demandeur d'origine est l'ASL (Association Syndicale Libre) constituée par les promoteurs présents pour l'aménagement de la ZAC. Les promoteurs seront substitués au fur et à mesure de l'achèvement des travaux par les copropriétés.

Le mode de financement du réseau est triple :

- Les droits de raccordement versés par chacun des promoteurs, en vue de leur raccordement au réseau de chaleur. Ce droit de raccordement correspond à l'investissement évité qu'aurait dû supporter les promoteurs si une solution Réseau Chaleur Urbain n'avait pas été mise en place. Par investissement évité, on entend une chaudière à gaz collective pour les logements sociaux et des chaudières à gaz individuelles pour les logements en accession. Le droit de raccordement est proportionnel à la puissance souscrite et versé à l'achèvement du bâtiment, avant sa livraison.
- Les abonnements (R2) et les ventes de chaleur (R1) réalisée auprès des copropriétés de l'ASL. La vente de chaleur fait l'objet au même titre qu'une DSP classique d'un système de facturation binomial durant toute la durée du contrat liant l'ASL et Flowergy Chatenay-Malabry.
- Eventuellement et suivant l'examen par les autorités en charge, les subventions (Fonds Chaleur, Fonds FEDER, ...), qui viennent directement en réduction de la composante abonnement (R2) et donc de la facture de l'abonné du réseau de chaleur.

FLOWERGY sollicite des subventions auprès :

- de la Région Ile-de-France (délibération sur l'énergie N° CR-37-08 du mois d'avril 2008) ;
- de l'ADEME (loi d'orientation sur la politique énergétique nationale du 13 juillet 2005).

1.5.3 Subventions à la réalisation – Fonds Chaleur

Le Fonds Chaleur 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. Le montant du Fonds Chaleur prévu dans le Projet de Loi de Finances 2009 était de 1 milliard d'euros pour les trois années suivantes. Ce montant est revu depuis par période triennale afin de répondre aux objectifs 2020.

Cet outil financier complète les dispositifs d'aide actuels et s'intègre dans les projets des Schémas Régionaux du Climat, de l'Air et de l'Energie. 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 (gaz, fioul...).

Pour le secteur de la géothermie sur aquifère profond, défini pour les exploitations des aquifères d'une profondeur supérieure à 200 mètres, l'objectif d'une production de chaleur de 500 000 TEP/an est fixé pour 2020, ce qui correspond à une augmentation de 370 000 TEP/an par rapport à 2006.

Dans ce cadre, le projet de Flowergy – Chatenay-Malabry est éligible au Fonds 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. Ce dossier de demande pourra être intégré au dossier réglementaire établi dans le cadre des demandes de permis de recherche d'un gîte géothermique et à l'autorisation d'ouverture de travaux de forage.

L'ordre de grandeur du niveau des subventions pourrait être de 25 % du montant des investissements hors maîtrise d'œuvre.

D'après la circulaire de l'ADEME du 13 mars 2013, l'aide calculée par analyse économique est dorénavant plafonnée : à hauteur de 80 €/tep EnR (20 ans) pour une géothermie profonde sans recours à une PAC et à 165 €/tep EnR (20 ans) avec recours à une PAC.

Les Tep EnR seront comptabilisées en sortie de l'échangeur de l'installation ou à l'entrée de la pompe à chaleur. Ce montant d'aide maximum pourra être diminué au regard de l'analyse économique du projet.

Ce niveau d'aide peut être atteint par le Fonds Chaleur seul, ou en combinaison avec des crédits régionaux et le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER). Dans le cadre du présent projet, un dossier FEDER a été présenté, mais n'a pas été retenu par le pouvoir instructeur, la région Ile de France.

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 à 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 (SAF Environnement) abondé par l'ADEME et la Région Ile-de-France ainsi qu'à la validation de l'analyse économique du projet par un Comité Technique ADEME-Région.

L'obtention d'une aide supplémentaire pour la réalisation d'un projet à caractère « exploratoire » au Lusitanien est fortement probable mais ne peut être déterminé à ce stade.

L'éligibilité du projet aux subventions ADEME repose principalement sur les informations ci-dessous:

- Les subventions concerneraient le nouveau réseau de chaleur de l'éco-quartier ZAC La Vallée ;
- La composante ENR&R est apportée par un doublet géothermique au Lusitanien ;
- Le taux de couverture des besoins par les ENR&R est calculé à environ 61 % (> 50 %) ;
- La densité thermique du réseau est calculée à 5,85 MWh/ml (chaud) (> 1,5 MWh/ml/an) ;
- La longueur de tranchée concernée par l'opération est de 2085 ml (> 200 ml) ;

- L'engagement des fonds obtenus dans le cadre de l'AAP bénéficient directement aux abonnés (via la composante négative R25).

1.5.4 Fonds de garantie géothermie

Comme toute ressource du sous-sol, la géothermie est soumise aux aléas géologiques. Ces risques spécifiques à la filière ne peuvent être correctement couverts par les compagnies d'assurances classiques. Lors du développement des activités de géothermie en Ile-de-France dans les années 1980, un fonds de garantie a été créé par les Pouvoirs Publics, spécialement à l'attention des maîtres d'ouvrage d'exploitations géothermiques.

Le fonds de garantie géothermie est géré par la SAF Environnement (filiale de la Caisse des Dépôts et Consignations) et présidé par l'ADEME.

Dans le cadre du présent projet, la SAF a été saisie par Flowergy Chatenay-Malabry en décembre 2019 pour la mise en place d'une couverture spécifique au double géothermique dans le Lusitanien, avec possibilité de repli au Néocomien. On distingue le fonds « court terme » qui couvre le risque de ne pas trouver les caractéristiques prévisionnelles de la ressource (température et débit) lors de la réalisation des forages, et le fonds « long terme » qui couvre le risque lié à une dégradation des caractéristiques de la ressource en cours d'exploitation et les dommages pouvant survenir sur les installations.

- Fond de garantie « court terme » :

Les grandes lignes sont les suivantes :

- garanties : échec des forages (les débits ou températures escomptés ne sont pas vérifiés) ;
- cotisation : 3,5 % du montant Hors Taxes d'un doublet de forage ;
- couverture.

En cas d'échec total du forage (puissance thermique avérée inférieure à 50 % de la puissance thermique escomptée), l'ADEME couvre 65 % du montant maximal garanti. Ce montant peut atteindre 90% des coûts si la Région où est réalisé le projet participe au fond de couverture du risque. **Le montant maximal garanti est fixé au cas par cas**

En cas d'échec partiel du forage (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.

- Fond de garantie « long terme » :

- Garanties : pérennité de la ressource (en termes de débit et de température), dommages aux puits d'origine géologique ou géothermique (dépôts, corrosion, colmatage, vieillissement du réservoir, etc.) ;
- Durée : 20 ans ;
- Cotisation : environ 15 k€/an pour une opération sur le Dogger dans le Bassin Parisien ;
- Plafond d'indemnisation par sinistre : 1 950 k€ (indexation sur la valeur du TP04).

1.5.5 Planning prévisionnel du projet

Les travaux de déconstruction des bâtiments existants sur le site d'École Centrale sont désormais achevés. Les travaux VRD (ensemble des réseaux d'alimentation et voies de circulation) ont commencé sur site en juillet 2019. Le réseau de chaleur est planifié pour être positionné comme les autres réseaux d'assainissement sous voirie. Les contraintes de chantier conduisent à établir des voiries provisoires pour desservir chacune des futures parcelles d'ilots. Du fait de ces contraintes de chantier, le réseau géothermal et le réseau de chaleur ont été positionnés, épreuves réalisées, à plus de 60% à ce jour.

Le planning prévisionnel du projet de géothermie à Chatenay-Malabry présenté en Annexe 7.5 identifie les différentes tâches administratives et techniques à réaliser avant la mise en service prévisionnelle de l'exploitation géothermique (études, travaux..).

Les phases d'instruction et de délivrance des autorisations administratives devront être appréciées en fonction de la spécificité du projet, de la complexité du montage juridique et du contexte local (étude d'impact environnemental, enquête publique, permis de recherche, permis de construire de la centrale, permis d'exploitation).

Le planning prévisionnel envisage un démarrage des travaux de forage à l'horizon 2^{ème} semestre 2021 et une mise en service du doublet au Lusitanien début 2022.

1.6 Conditions réglementaires d'accès à la ressource

Flowergy s'engage à réaliser les travaux de forage dans le respect de la réglementation en vigueur au moment de leur réalisation.

Ce chapitre présente les contraintes réglementaires auxquelles est soumis le projet d'exploitation du Lusitanien avec en option le repli au Néocomien via un doublet géothermique 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 Lusitanien ou au Néocomien déjà existants dans le secteur.

Les textes réglementaires applicables sont les suivants :

- Phase projet :
 - Code minier : un gîte géothermique est considéré comme une mine (article L112-1 et L112-2) ;
 - Décret n°78-498 du 28 mars 1978 et article L124-4 du Code Minier qui précisent les conditions administratives d'obtention des titres de recherche et d'exploitation. ;
 - Décret n°2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrage ou d'aménagements ;
 - Décret n°2011-2018 du 29 décembre 2011 portant réforme de l'enquête publique relative aux opérations susceptibles d'affecter l'environnement.
- Phase travaux :

- Les travaux de recherches et d'exploitation de gîtes géothermiques sont soumis aux dispositions du titre VI – Travaux miniers (article L 164-1 du Code Minier) ;
- 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 ;
- Décret n° 2016-1303 du 4 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières, et abrogeant l'annexe intitulée « Titre Recherche par forage, exploitation de fluides par puits et traitement de ces fluides » du décret n° 80-331 du 7 mai 1980 portant règlement général des industries extractives ;
- Arrêté du 14 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substance minière, fixant les conditions et les modalités d'applications des dispositions du décret n°2006-649 du 2 juin 2016 et du décret n°2016-1303 du 4 octobre 2016 ;
- Décret n° 2019-1518 du 30 décembre 2019 relatif aux titres d'exploration et d'exploitation des gîtes géothermiques.

Toutes les autorisations sont délivrées par arrêtés préfectoraux, y compris l'arrêt définitif des travaux d'exploitation du gîte (articles L162-1, L162-4 et L124-6, L165-1 du Code Minier et article 3 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006).

1.6.1 Permis de recherche minier et permis d'exploitation

L'objectif du projet étant la récupération de chaleur souterraine, assimilée à une substance minérale qualifiée de « gîte géothermique », le cadre réglementaire qui s'applique est le Code Minier (article L112-1 et L112-2).

Le titre I, chapitre II du Code Minier intitulé « Les gîtes géothermiques » s'applique pour tous les aquifères dès lors que le prélèvement thermique et la profondeur de gisement dépassent un certain seuil.

Les procédures d'obtention du permis minier et du permis d'exploitation sont étroitement liées.

Il faut retenir des articles L124-4, L124-5, L124-6, L134-4, L134-5, L134-6, L134-8, L134-9, L142-11 et L142-15 du Code Minier que :

- Tous travaux de forage en vue de recherche de gîtes géothermiques sont soumis à autorisation accordée par arrêté préfectoral après enquête publique.
- En cas de succès de recherche, l'exploitation du gîte ne peut avoir lieu qu'en vertu d'un permis d'exploitation accordé par le Préfet. Le titulaire de l'autorisation de recherche peut seul obtenir 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 l'autorisation.
- Le permis d'exploitation, d'une durée maximale de trente ans, confère un droit exclusif d'exploitation dans un volume déterminé (un périmètre et deux profondeurs, toit et mur du réservoir).
- Un périmètre de protection de l'exploitation géothermique peut être délimité dans l'arrêté d'autorisation de travaux ou dans le permis d'exploiter.

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 version consolidé du 28 décembre 2003.

On retiendra au sujet des demandes d'autorisation de recherche que :

- Outre les renseignements administratifs relatifs au maître d'ouvrage et les caractéristiques des aquifères-cibles, la demande doit intégrer :
 - Le programme de travaux, le type et les modalités de valorisation envisagés.
 - Le cas échéant, la justification de la demande de périmètre de protection.
 - La demande d'autorisation de recherche 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 et le décret n°2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements.
 - Les volumes d'exploitation et périmètres de protection envisagés.
- Le dossier de demande d'autorisation est adressé au Préfet en 4 exemplaires, plus autant que de communes desquelles porte le périmètre de recherche ou le volume d'exploitation sur tout ou partie du territoire.
- Lorsque la demande est jugée recevable par le service interdépartemental des Mines (DRIEE), l'enquête publique, d'une durée minimale de 1 mois, est diligentée dans chaque commune concernée par la demande.
- La demande de permis d'exploitation sera présentée après que les autorisations de recherche du gîte, puis d'ouverture des travaux aient été obtenues.
- 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.
- L'arrêté est pris dans les quatre mois qui suivent la clôture de l'enquête publique (6 mois en cas de demande en concurrence). Si plusieurs départements sont concernés, la demande donne lieu à un arrêté inter-préfectoral.

Conformément à la réglementation en vigueur, le titre de recherche est sollicité pour une durée maximale de 3 ans.

1.6.2 Demande d'ouverture de travaux miniers

L'ouverture des travaux de forage est soumise à autorisation administrative après enquête publique et consultation des communes concernées, en application des articles L162-1 et L162-4 du Code Minier.

La procédure est régie par le décret 2006-649 du 2 juin 2006 dont l'article 3 soumet les travaux de recherche géothermique à autorisation, délivrée par le Préfet (article 15).

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, complétées par :

- L'étude d'impact définie par les articles R.122-1 à R.122-16 du Code de l'Environnement.

- Le document Santé-Sécurité du chantier décrit à l'article 28 du même décret.
- Un document indiquant les incidences des travaux sur les ressources en eau et, le cas échéant, les mesures compensatoires envisagées, afin de rendre les travaux compatibles avec le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) mentionné à l'article L. 212-1 du Code de l'Environnement.

Pour information, les règles de procédures prévues par le décret n°93-742 du 29 mars 1993 relatif à la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application de la loi sur l'eau (n° 92-3 du 3 janvier 1992) ne sont pas applicables aux ouvrages, travaux, et activités prévus dans le cadre de ce projet, à savoir :

- Rubrique 5.1.1.0. : Réinjection dans une même nappe des eaux prélevées pour la géothermie.... ;
- Rubrique 5.1.2.0. : Travaux de recherche et d'exploitation de gîtes géothermiques.

Ces rubriques renvoient à l'autorisation de travaux régie par le décret 2006-649 d'application de l'article L.162-4 du Code Minier (ancien article 83).

Une autorisation obtenue au titre du Code Minier (Art L.162-4) vaut autorisation ou déclaration au titre du Code de l'Environnement, sous réserve que le dossier de demande comporte les éléments exigés par le Code de l'Environnement (dispositions définies aux articles R.214-6 dans le cas d'une autorisation et R.214-32 dans le cas d'une déclaration).

L'arrêté du 28 mars 2019 fixe un modèle national pour la demande d'autorisation environnementale, requise pour tout projet IOTA (L214-3 et L211-3 du Code de l'Environnement) soumis à autorisation. Cet arrêté ne modifie pas les catégories d'installations soumises à autorisation/déclaration au titre du Code de l'Environnement, appelées IOTA (Installation, Ouvrages, Travaux, Activités) de la nomenclature eau.

Les opérations de géothermie basse énergie type Lusitanien ou Néocomien font partie des installations exemptées de ce régime d'autorisation/déclaration au titre du code de l'environnement car elles sont déjà couvertes par le code minier. L'étude d'impact environnemental prescrite dans le code minier permet de satisfaire les exigences du code de l'environnement.

1.6.3 Permis d'exploitation existants et périmètres concernés

Actuellement, aucun ouvrage n'exploite l'aquifère du Lusitanien sur le département ou la région Ile-de-France.

En cas de repli sur l'aquifère du Néocomien, le doublet géothermique du Plessis Robinson (LPR-1 / LPR-2) fonctionne actuellement à 3 km à l'ouest du site. Ce forage a été foré fin 2012 et est en cours d'exploitation.

Les emprises du futur permis d'exploitation du doublet au Lusitanien et en cas de repli au Néocomien sont représentées sur les figures suivantes.

L'emprise de ce permis de recherche n'empiète sur aucun permis de recherche ni permis d'exploitation dans le secteur. Ses dimensions permettent d'anticiper, dans une certaine limite, un éventuel changement du point d'implantation des têtes de puits du doublet et de faire pivoter le

dispositif en cas de besoin (incident technique survenant lors de la réalisation d'un forage par exemple, avec création d'un side-track).

L'emprise du futur périmètre d'exploitation de Chatenay-Malabry s'appuie sur la modélisation du fonctionnement hydrodynamique et thermique du réservoir (présentée au Chapitre 2.4) dont les principaux objectifs sont :

- de s'assurer de la pérennité de la ressource au droit du futur doublet ;
- de vérifier l'absence de recyclage d'eau froide au sein du doublet, susceptible de compromettre la viabilité technique et économique de l'exploitation ;
- de contrôler éventuellement l'impact à moyen et long terme (30 ans) de l'exploitation du réservoir sur les opérations voisines, et inversement.

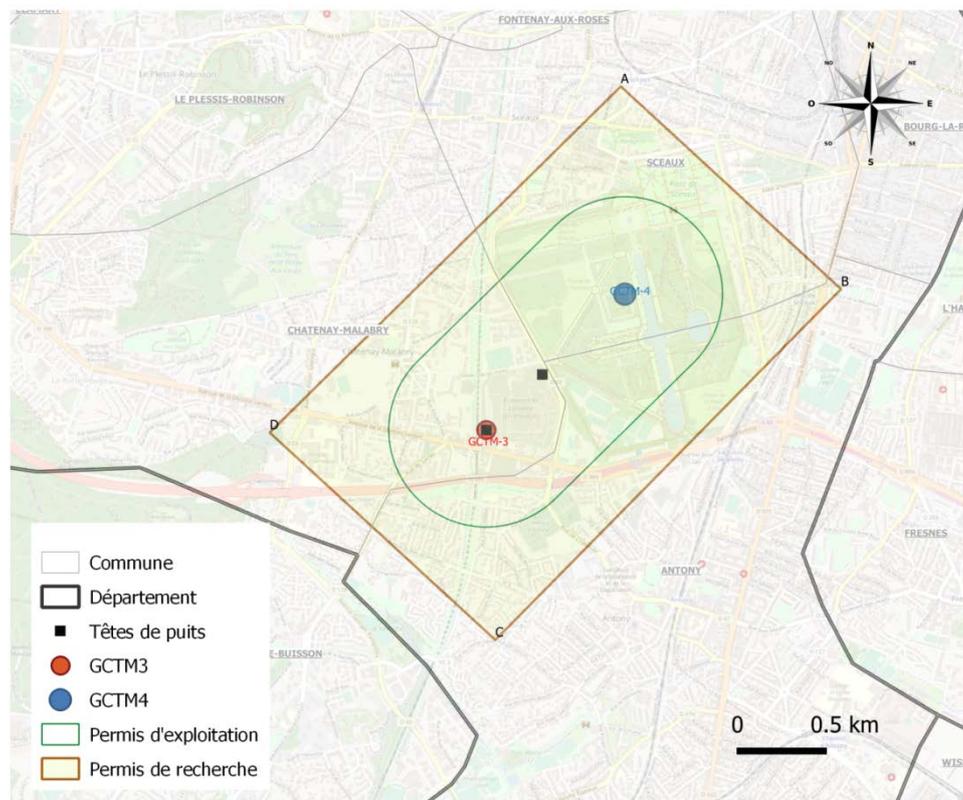


Figure 26: Permis de recherche et d'exploitation prévisionnels du dispositif au Lusitanien

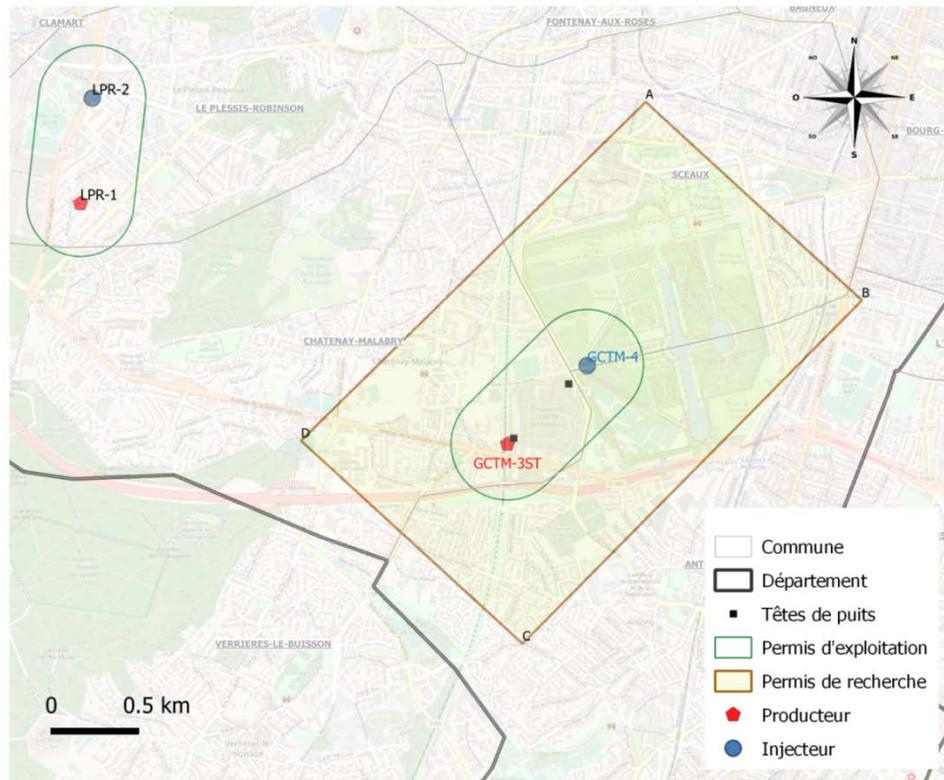


Figure 27 : Permis de recherche et d'exploitation prévisionnels du dispositif de repli au Néocomien

1.6.4 Durée relative à la demande formulée

Conformément à la réglementation en vigueur, le titre de recherche est sollicité pour la durée maximale de 3 ans.

Les travaux de forage du doublet géothermique seront réalisés, après réception de l'autorisation préfectorale d'ouverture des travaux, dans un délai maximum de 3 ans et en tout état de cause dans le cadre du permis de recherche.

1.6.5 Permis d'exploitation envisagés suite à la recherche

A l'issue des travaux de forage de l'opération de géothermie de la ZAC la Vallée de Chatenay-Malabry et en fonction des résultats opérationnels, une demande de permis d'exploitation devra être formulée pour une durée initiale de 30 ans.

Les caractéristiques d'exploitation prévisionnelles du nouveau doublet sont résumées dans les tableaux suivants.

Température au réservoir (°C)	Température d'injection minimale (°C)	Débit maximal (m ³ /h)	Puissance thermique maximale (MW)
55 ± 5	20	150	6,1 ± 0,8

Tableau 6: Récapitulatif des caractéristiques d'exploitation du doublet au Lusitanien

Température au réservoir (°C)	Température d'injection minimale (°C)	Débit maximal (m ³ /h)	Puissance thermique maximale (MW)
36 ± 2	10	150	4,5 ± 0,4

Tableau 7: Récapitulatif des caractéristiques d'exploitation en cas de repli au Néocomien

1.6.6 Contraintes SDAGE Seine-Normandie et protection de l'aquifère de l'Albien/Néocomien

1.6.6.1 Dispositions générales

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

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du Bassin Seine-Normandie 2016-2021 a été adopté le 5 novembre 2015 par le comité de bassin. Les contraintes liées au SDAGE Seine-Normandie, pour la protection des ressources en eau, sont exposés dans le Chapitre 4.4.15.

Ses dispositions prévoient notamment une protection accrue de l'aquifère stratégique de l'Albien / Néocomien. Le secteur de Chatenay-Malabry fait partie du réseau des Rivières d'Ile-de-France du bassin Seine-Normandie (Cf. Figure ci-dessous). Sa rédaction est la suivante : "La nappe de l'Albien et la nappe sous-jacente du Néocomien doivent être exploitées de manière à assurer impérativement leur fonction de secours pour l'alimentation en eau potable".

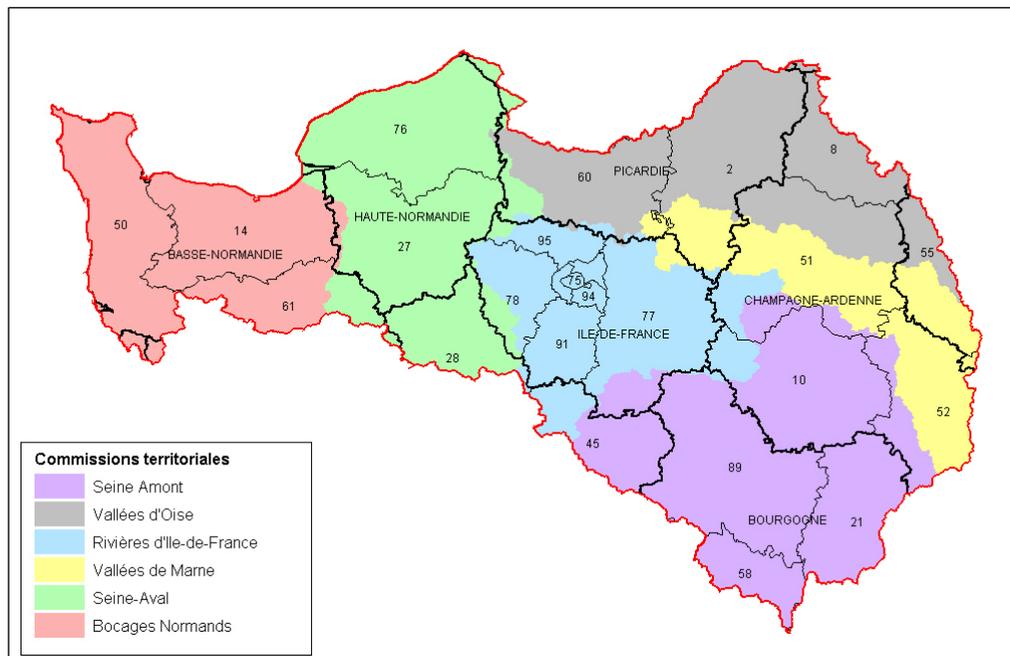


Figure 28: Périmètre du bassin Seine-Normandie (site DRIEE Ile de France)

1.6.6.2 Dispositions "Géothermie" et protection de l'aquifère de l'Albien/Néocomien

Le projet de repli au Néocomien, pour être recevable, devra prévoir une architecture de puits et un équipement tels que l'ouvrage de production soit opérationnel à tout moment pour faire face à une alimentation de secours en eau potable pendant une durée de 3 mois, au débit de 150 m³/h. Ce débit correspond aux besoins d'une population de 180 000 personnes en cas de défaillance des moyens classiques de production d'eau potable.

En 2003, en prévision de la réalisation d'un forage de réinjection à la Maison de la Radio, la Préfecture de Police de Paris (Direction de la protection du public) a édicté un certain nombre de prescriptions (29) applicables au prélèvement et à la réinjection dans l'Albien-Néocomien.

Outre les dispositions générales relatives aux données géographiques et administratives de l'opération et au rappel des nomenclatures dont relèvent les installations au titre des articles L.214-2 et L.511-2 du Code de l'Environnement, l'arrêté stipule des conditions dont l'application au projet de Châtenay-Malabry doit être anticipée.

La plupart des conditions reprennent les règles de bonne conduite d'installation de ce type et les règles de l'art concernant la réalisation d'ouvrages de captage d'eaux profondes (suivi des travaux, échantillonnage des terrains traversés, tubage et cimentation, contrôle des cimentations...). Les conditions plus spécifiques au doublet à l'Albien et au Néocomien sont les suivantes :

✓ **Mode d'exploitation**

- L'eau sera **uniquement** destinée au fonctionnement du procédé thermique ;
- Les échanges calorifiques avec l'eau se feront en circuit fermé, sans contact avec l'air ambiant, et sans modification chimique de l'eau ;
- **A titre dérogatoire, si des prélèvements d'eau sont réalisés à des fins de nettoyage des puits et du proche aquifère, et en particulier si ces opérations requièrent l'utilisation de**

produits chimiques, ces fluides pourront être rejetés temporairement dans le réseau d'assainissement ;

- Des essais d'injection devront être menés en fin de travaux, des contrôles d'intégrité seront réalisés avant et après les essais.

✓ **Aménagement et exploitation des ouvrages**

- Le Maître d'ouvrage doit veiller par tous les moyens appropriés, à la disponibilité de l'ouvrage pour des situations de crise pour l'alimentation en eau potable ;
- La pompe sera placée dans l'ouvrage à une cote inférieure permettant d'être en mesure de fournir un débit de 150 m³/h ;
- Un contrôle des ouvrages sera réalisé tous les 10 ans au moins, il comprendra :
 - un pompage d'essai ;
 - un contrôle des tubages (caméra ou diagraphie de calibrage des cuvelages) et des cimentations (CBL).
- Un contrôle bactériologique de l'eau réinjectée sera réalisé trimestriellement, en conformité avec le décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine.

Il est souhaitable de donner au projet les orientations suivantes :

- Proscrire tout échange direct entre l'eau de l'Albien et du Néocomien et l'air, et tout autre fluide en circulation ;
- Seul le puits de production sera mobilisable pour un secours en A.E.P.

1.7 Identification des risques et contraintes techniques et organisationnelles applicables au projet

1.7.1 Les contraintes techniques et réglementaires

1.7.1.1 Les contraintes en surface

La surface prévisionnelle totale, utilisée pour l'implantation de la machine de forage et dédiée au futur chantier de forage, de 3 000 m² ainsi qu'une surface de stockage de 500 m², se situe sur les parcelles n°124, n°127 et n°133 des feuilles 000 AF 124 et 000 AM 144 pour le forage d'injection et sur la parcelle n°51 de la feuille 000 AL 69 pour le puits de production (Cf. Figure ci-dessous)

La réalisation d'un puits géothermique foré en diamètre 6" ou 8''^{1/2} au Lusitanien nécessite autour de la tête de puits une aire idéalement vierge de végétation et de construction, horizontale et traitée en voirie lourde.

A l'issue des travaux, une aire de « servicing » idéale de 1 000 m² doit être ménagée autour des têtes de puits pour en assurer la maintenance.

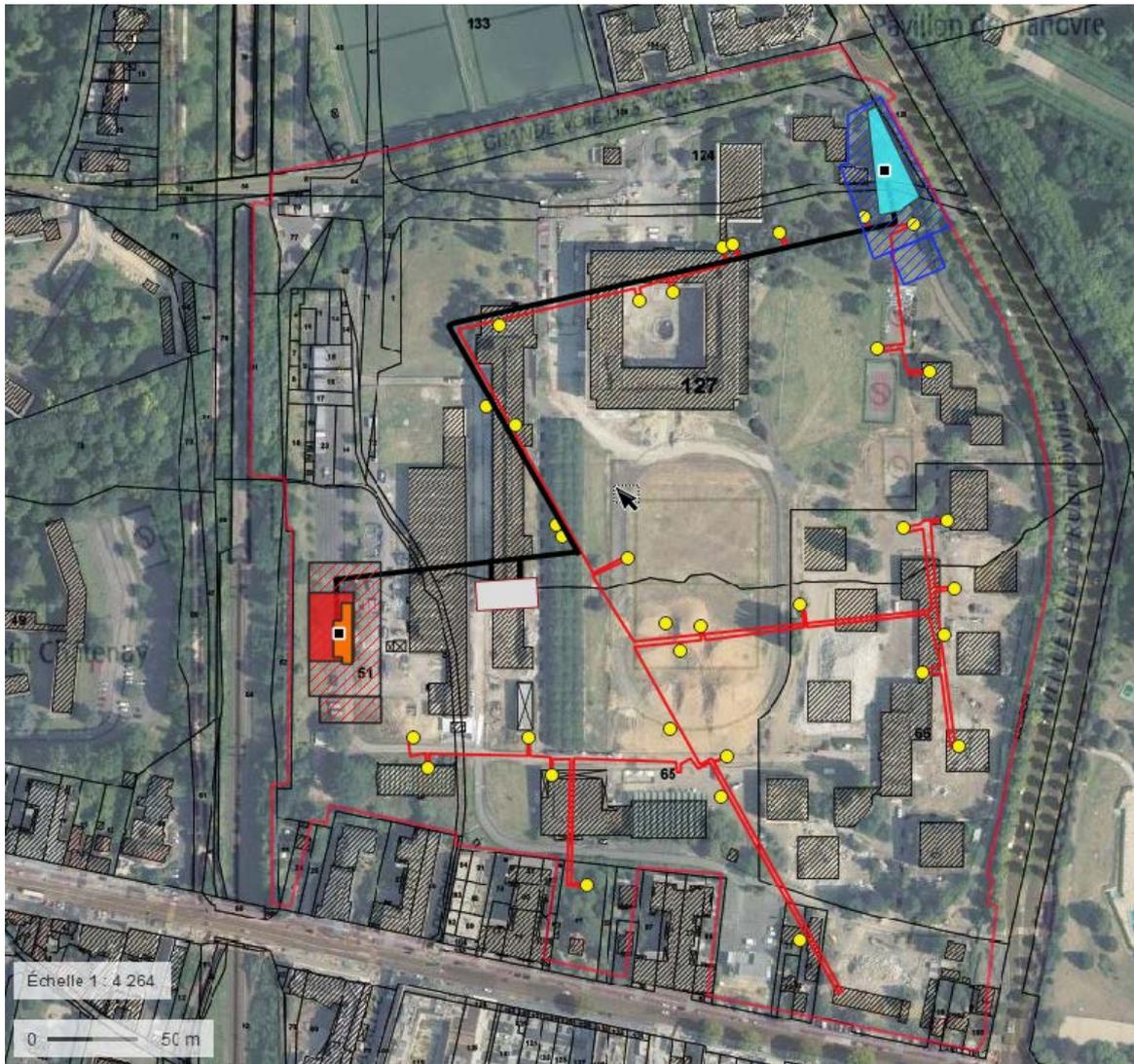


Figure 29: Emprises des zones chantier des forages en sur le cadastre en vigueur

Au niveau du puits injecteur, la zone de maintenance sera conservée et aménagée en accord avec les respectant les contraintes environnementales et architecturales en accord avec les engagements du projet de la ZAC ainsi que les qualités de portance de la plateforme.

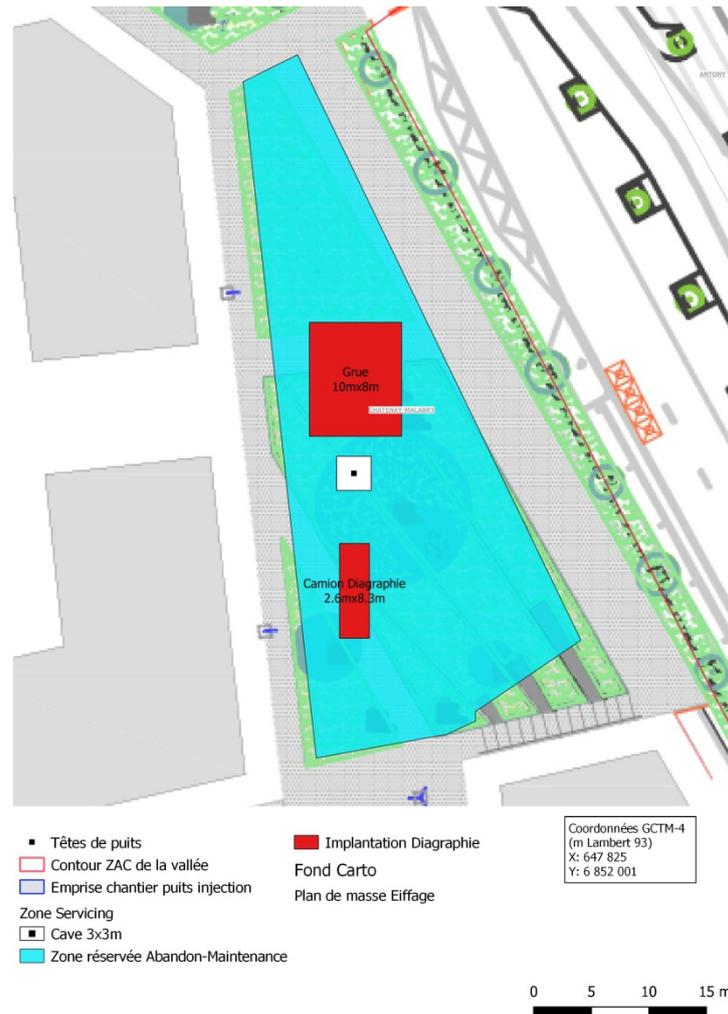


Figure 30 : Emprise de la zone de maintenance-abandon du puits injecteur

Au niveau du puits producteur, afin de préserver au maximum l'espace réservé à la ferme urbaine : il est envisagé de définir deux zones de servicing (cf. figure suivante) :

- Une première zone de maintenance Lourde (en orange) correspondant à une surface de 1000 m² traitée en voirie lourde permettant de pouvoir une machine de workover. Etant donné que cette zone n'est prévue d'être utilisée qu'à l'abandon des ouvrages, la plateforme sera conservée mais recouverte de terre végétale (sur base géotextile) afin que la ferme urbaine puisse utiliser cette surface. Au moment de l'abandon, la terre végétale et les cultures seront retirées pour laisser place à la plateforme de workover.
- Une seconde zone de maintenance légère (en pointillé rose) sera aménagée et conservée afin de pouvoir réaliser le suivi réglementaire de l'ouvrage, les diagraphies réglementaires et les manœuvres de pompe d'exhaure. Cette surface de l'ordre de 300 m² utilise en partie la voirie, une convention d'accès et d'occupation temporaire de la voirie sera mise en place entre l'exploitant et la Ville de Chatenay-Malabry. La voirie au niveau du puits de production est une voirie secondaire de la ZAC, facilitant cette convention d'occupation.



Figure 31 : Emprise de la zone de maintenance légère et exemple de travaux de maintenance légère (Fond autocad) au niveau du puits producteur

L'intégration de la future centrale géothermique d'environ 500 m² sur la parcelle n°65 a été intégrée au programme d'aménagement de la ZAC.

A ce jour, la mise en place des futurs réseaux (assainissement, eau potable, chaleur) de la ZAC est en cours. La présence et la localisation définitive des réseaux enterrés au droit du projet doit être vérifiée avant travaux (plan de masse). Les Déclarations de Travaux (DT) seront lancées avant toute intervention sur site afin de recenser l'emplacement des canalisations et ouvrages enterrés à proximité du chantier.

Au regard du PLU de Chatenay-Malabry, le site du projet appartient à la zone UEC, dédiée essentiellement à la création de l'éco-quartier de La Vallée. Le PLU indique que cette zone fait l'objet d'une Opération d'Aménagement Programmée (OAP) qui insiste sur 4 points à développer lors de tout projet d'aménagement, notamment le désenclavement du site, la création d'un lieu de vie ouvert sur la ville, la création de continuités et la mise en avant d'une démarche ville-parc.

Ces points sont repris dans les prescriptions architecturales, urbaines, paysagères et environnementales de la ZAC Parc Centrale (Cf. Annexe 7.13).

Dans les définitions du PLU, les chaufferies collectives sont incluses dans les constructions et installations nécessaires au service public ou d'intérêt collectif, et non dans les constructions de type industrie.

1.7.1.2 Les contraintes d'impact au réservoir

Conformément au Code Minier (Cf. Paragraphe 1.6), tout projet neuf au Lusitanien doit être conçu dans le respect des permis d'exploitation en vigueur à proximité du projet. Les études d'interférences et l'optimisation des impacts au réservoir minimisent le risque d'interférence avec les opérations voisines.

Aucun permis d'exploitation n'interférera avec le projet de géothermie de Chatenay-Malabry, celui-ci ayant pris en compte dans sa réalisation les projets géothermiques voisins.

1.7.1.3 Les contraintes de conception

L'architecture des forages doit tenir compte de l'obligation de protection des aquifères de l'Albien et du Néocomien traversés pour atteindre la cible du Lusitanien. Ces aquifères « stratégiques », compte tenu de l'exceptionnelle qualité de l'eau qu'ils contiennent, doivent être isolés par deux tubages concentriques avec cimentation de chaque annulaire.

Le forage de production GCTM-3, prévu comme premier puits foré, présentera un seul tubage en face des aquifères de l'Albien/Néocomien pour permettre un repli sur l'aquifère du Néocomien en cas d'échec du forage au Lusitanien. Cette architecture plus légère est compensée par un tubage en matériau composite plus résistant à la corrosion que l'acier, ce qui réduit le risque de percement des tubages par le fluide géothermal du Lusitanien et permet ainsi de protéger l'aquifère de l'Albien d'une incursion de fluide du Lusitanien, plus salé et minéralisé.

De plus, le choix d'architecture de puits vertical pour le puits producteur permettra d'en assurer une meilleure cimentation (pas de tortuosité dans le trou nu et meilleure centralisation de l'outil de forage) et donc une meilleure isolation des aquifères traversés. Un focus sur le maintien de la bonne isolation des aquifères est présenté en chapitre 4.4.15.4.

En cas de repli au Néocomien pour le puits producteur, des bouchons de ciment seront installés pour isoler l'aquifère du Lusitanien de l'Albien-Néocomien.

Le puits d'injection GCTM-4 présentera un double tubage en face des aquifères de l'Albien et du Néocomien, avec un tubage 9''^{5/8} en acier et un tubage 7'' en composite. L'architecture de ce puits diffère du puits de production car il ne nécessitera pas de solutions de repli.

Les nouveaux ouvrages seront réalisés dans les règles de l'art, notamment en suivant le guide BRGM des « bonnes pratiques » d'exécution des forages géothermiques profonds en région Île-de-France.

1.7.1.4 Le risque géologique

L'aquifère du Lusitanien n'est pas exploité pour la géothermie dans le Bassin Parisien actuellement, ce qui lui confère un caractère exploratoire.

Néanmoins, les caractéristiques lithostratigraphiques du Lusitanien ont été décrites par plusieurs forages géothermiques visant l'aquifère plus profond du Dogger, comme les forages de Chatenay-Malabry, Bagneux, Fresnes, Porte-Saint-Cloud. L'ancien doublet de Chatenay-Malabry permet aussi de confirmer les épaisseurs conséquentes (130 m à 150 m) du Lusitanien à proximité du secteur d'étude.

Le projet prend en compte le caractère exploratoire du Lusitanien en proposant un repli du forage sur la formation du Néocomien en cas d'échec au Lusitanien. Cette formation sableuse est captée par l'opération de géothermie du Plessis-Robinson.

Des incertitudes sur les côtes 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, l'environnement de dépôt du Lusitanien similaire à celui du Dogger et l'existence de forages géothermiques proches permettent de construire une coupe géologique prévisionnelle réduisant les incertitudes géologiques. De plus, le suivi géologique en temps réel permettra d'adapter le programme à l'avancement.

Le risque n'étant cependant pas nul, la couverture du risque par le fond de garantie « court terme » de la SAF-Environnement est très fortement conseillé. La convention établie par le futur maître d'ouvrage avec la SAF Environnement devra être fournie au plus tard à l'issue de l'enquête publique.

1.7.1.5 Les risques hydrogéologiques

L'aquifère du Lusitanien n'est pas exploité pour la géothermie dans le Bassin Parisien actuellement, ce qui lui confère un caractère exploratoire. Cependant, des caractéristiques aquifères ont été reconnues sur plusieurs ouvrages ciblant l'aquifère plus profond du Dogger, notamment sur les puits d'Orly, Ivry, Fresnes, Alfortville. Des tests ont permis de repérer des horizons producteurs sur les puits d'Ivry et d'Orly. De plus, ses caractéristiques pétrologiques proches du Dogger laissent penser que cet horizon présente les caractéristiques requises pour l'exploitation d'un futur doublet géothermique.

Le projet prend en compte cette incertitude sur les capacités productrices du Lusitanien en prévoyant un repli sur l'aquifère du Néocomien en cas d'échec au Lusitanien.

Le projet devra tenir compte des variations régionales des paramètres hydrogéologiques et thermiques de l'aquifères du Lusitanien ainsi que de celles de l'aquifère du Néocomien en cas de repli. L'incertitude sur les performances finales du doublet sont prises en compte avec un programme d'acidification et de développement des puits après la fin du forage. Un programme prévisionnel de stimulation chimique complémentaire sera élaboré et mis en œuvre si la perméabilité trouvée n'est pas suffisante. Ce programme consisterait à mettre en œuvre des formulations acides avec effet "retard" afin de toucher des portions de réservoir plus distales par rapport au proche puits et ainsi améliorer la perméabilité du réservoir. Les quantités d'acides seraient également adaptées aux caractéristiques obtenues et aux gains attendus.

L'accès à l'aquifère du Lusitanien implique le percement de nappes sus-jacentes potentiellement productrices (Cf. Paragraphe 4.4.6). 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 Lusitanien est artésien au droit du site (~5 bars de pression statique). Le forage du réservoir implique la mise en place de dispositifs particuliers de contrôle des éruptions (Bloc Obturateur de Puits - BOP). Le dispositif de contrôle des éruptions sera mis en place lors de la phase de forage du réservoir.

Une attention particulière sera portée au programme de boue du nouveau forage en particulier pour ce qui concerne les phases de forage des aquifères sensibles. La densité de la boue et l'assemblage de la colonne de forage seront adaptés en cours de forage à la spécificité du terrain.

L'exploitation du doublet (GCTM-3/GCTM-4) devra anticiper les contraintes géochimiques dues notamment à la salinité de l'eau du géothermale (~8 g/L attendue) et à la plus grande incertitude sur la chimie réelle du fluide et sa corrosivité due au caractère plus exploratoire de Lusitanien.

Spécificités de l'aquifère du Néocomien relatif au repli

L'opération du Plessis-Robinson captant l'aquifère du Néocomien indique une productivité avérée de cet aquifère. Néanmoins, la formation des sables du Néocomien présente une perméabilité irrégulière avec des taux d'argiles plus ou moins élevés. Les sables du Néocomien sont moins sollicités que ceux de l'Albien et donc moins bien connus dans le Bassin parisien. La productivité des sables du Néocomien serait moins bonne qu'à l'Albien du fait d'une granulométrie des sables plus faible (0,1 à 0,3 mm) et d'une cimentation variable dans l'espace (rapport R39702 BRGM). Cet aquifère sableux a la particularité d'être favorable à l'exploitation de débits importants mais les moins bonnes capacités de réinjection que de production de cet aquifère contraignent le plus souvent la production.

Dans le cadre du projet Guidoclast « bonnes pratiques pour l'exploitation d'opérations géothermiques en réservoir clastique » (rapport BRGM RP-67113-FR), le BRGM émet des préconisations générales qui sont prises en compte et approfondies dans le cadre du repli au Néocomien du projet de Chatenay-Malabry. Les préconisations relatives au Néocomien formulées dans Guidoclast sont les suivantes :

- l'évolution des complétions en acier inoxydable mises en place (colonne captante à double paroi pré-gravillonnée, équipements diélectriques) avec la possibilité d'adapter la nature de la crépine en fonction du sens d'écoulement du fluide dans l'ouvrage (production ou injection) ;
- les durées importantes (plusieurs semaines) nécessairement consacrées aux phases de développement, de nettoyage et d'essais, réalisées après la démobilisation de la machine de forage et la mise en place d'un appareil de work-over plus léger ;
- la mise en place d'un système de filtration du fluide au cours des essais de réinjection (hydrocyclone) pour préserver l'injectivité.

De manière indépendante à la nature des réservoirs ciblés, les opérations de forages géothermiques profonds sont confrontées à des problèmes techniques spécifiques, liés notamment au contexte urbain des réalisations (durée et difficultés accentuées pour des travaux devant être interrompus la nuit et les week-ends), à la déviation des forages et aux diamètres importants des tubages qui peuvent générer des difficultés particulières notamment lors des opérations de cimentation. La présence permanente d'une ingénierie spécialisée s'impose en particulier pour la gestion des fluides de forage et les essais hydrogéologiques.

En revanche, de manière spécifique à l'exploitation des réservoirs clastiques (comme c'est le cas du Néocomien), le retour d'expériences, relatif aux opérations d'Issy-les-Moulineaux et du Plessis-Robinson, présentés par le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre met en évidence la nécessité d'améliorer les techniques et les pratiques portant sur le diagnostic des ouvrages, le développement des moyens de filtration (100 µm actuellement), la sensibilisation à différents niveaux des équipes de suivi et de maintenance des équipements et de la collectivité.

Pour ce qui concerne la filtration, le système mis en place et généralisé pour les exploitations hollandaises (filtration à 1 µm en amont et en aval des échangeurs) sera étudié d'un point de vue technico-économique, sachant que 90% des grains de sable du Néocomien auraient une taille inférieure à 1 mm (ordre de grandeur des ouvertures de crépines) et que 10% de ces éléments seraient inférieurs à 80 µm. Le système de filtration proposé dans le cadre du projet de Châtenay-Malabry est décrit au paragraphe 2.9.6.3.

1.7.1.6 Les risques liés au forage

Les formations superficielles sont généralement très perméables et les risques de perte totale de fluides de forage sont élevés. Le forage par havage (sans boue ni fluide de forage) des avant-puits jusqu'à 40 mètres de profondeur environ minimisera ce risque.

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.

Le forage du puits de production GCTM-3 sera vertical jusqu'au Lusitanien. Ce puits sera légèrement dévié qu'en cas du repli au Néocomien si le Lusitanien n'est pas productif. La partie déviée sera alors forée en diamètre 17''^{1/2} pour revenir à la verticale lors du forage des horizons sableux de l'Albien-Néocomien.

Le puits injecteur GCTM-4 au Lusitanien sera dévié avec un angle maximal de 45° afin d'écartier au maximum les impacts au réservoir du doublet. Pour un diamètre de forage de 17''^{1/2} (cas d'étude) l'expérience au Dogger montre qu'un angle d'environ 50° est parfaitement gérable.

1.7.2 Les contraintes d'organisation et de planification

La disponibilité des appareils et des équipes de forage capables de forer les ouvrages au Lusitanien est limitée. Les entreprises françaises sont peu nombreuses (deux visibles généralement dans les appels d'offres récents) et elles ne disposent que d'un ou deux appareils pouvant répondre au cahier des charges.

La planification des consultations (et a fortiori des travaux) devra tenir compte de ce contexte. Dans les pays limitrophes, Allemagne et Italie notamment, les moyens existent. Ils sont également très sollicités sur le marché local. Le transfert d'un atelier de forage depuis l'étranger est toujours générateur de surcoûts limitant la compétitivité des offres.

Néanmoins, depuis 2008, aucune opération nouvelle au Dogger n'a pâti de l'indisponibilité d'un appareil de forage.

Leur taux d'occupation sur le marché du pétrole, du gaz ou du stockage permet de ménager des périodes pour la réalisation d'opération dont la durée d'une trentaine de jours par puits environ n'est pas excessive dans ce domaine d'activité.

Pour des raisons similaires à celles évoquées précédemment, le marché des tubages - à l'instar de celui de l'acier ou de la fibre de verre- subit des fluctuations au niveau international. Pour les besoins des puits au Lusitanien, environ 2 200 mètres de tubes acier et 2 750 m de tube en fibre de verre (matériau composite) seront nécessaires. Les délais d'approvisionnement sont à la fois fluctuants et parfois longs (plusieurs mois).

Les délais d'approvisionnement des tubages demeurent une contrainte majeure de planification des projets. Les délais actuels sont d'environ de 4 à 6 mois selon les diamètres. Ces délais sont compatibles avec le planning actuel de réalisation du projet.

1.7.3 Les contraintes de chantier

Le trafic routier aux abords du chantier peut être impacté en phase travaux. Le montage et le démontage de l'appareil génère un trafic de poids lourds intense. En cours de forage, les approvisionnements sont également assurés par poids lourds, ce qui nécessite une bonne gestion des accès, du stationnement et du transit aux abords du chantier.

L'accès au site se fera via les avenues de la Division Leclerc et Sully Prudhomme et de la rue Grande voie des Vignes. Les contraintes principales de ce site sont constituées par :

- les deux avenues qui doivent rester accessible dans les deux sens aux usagers,
- la concomitance des travaux d'aménagement de la ZAC,
- l'intégration des futurs bâtiments pour la maintenance des ouvrages en exploitation
- la présence d'habitations existantes au sud de la parcelle n°51.

L'orientation des têtes de puits et de la machine de forage, proposée par CFG, tient compte de la circulation nécessaire autour de la machine et l'anticipation de la création des immeubles de la future ZAC. Une convention d'accès et de voirie seront à prévoir auprès des services techniques de la Ville.

Cette implantation sera à aménager ou modifier par les entreprises de forage au moment de la consultation pour les marchés de travaux en fonction du choix définitif de la machine de forage et des contraintes de site.

Le chantier de forage doit fonctionner 24heures/24 et 7jours/7, une autorisation de dérogation au repos dominical est par conséquent nécessaire pour les entreprises intervenantes.

Sur le plan environnemental, le chantier provoque des nuisances sonores soutenues et continues dont la compatibilité avec le voisinage doit être étudiée au stade du projet, notamment en fonction de l'avancement de la construction des habitations sur la ZAC.

Compte tenu de l'importance de l'aménagement sur la ZAC, la réalisation est prévue en trois phases. Les lots S, D, T F et M, qui jouxteront les chantiers, sont prévus d'être livrés après 2024 (Cf. Figure ci-dessous) ; le forage des puits sera terminé d'ici là. Les nuisances sonores du chantier concerneront essentiellement les habitations situées au sud de la parcelle n°51 le long de l'avenue de la Division Leclerc

La gestion des résidus et effluents de chantier, qu'ils soient liquides (boues, productions d'eau géothermale), solides (fragments de formations, cuttings) ou gazeux (H2S) constitue un élément important du chantier, tant du point de vue environnemental que réglementaire et sanitaire, vis-à-vis des travailleurs et du public (riverains, visiteurs).

Ces contraintes sont abordées dans le paragraphe 4.4 de ce document, consacré à l'impact du projet sur l'environnement.

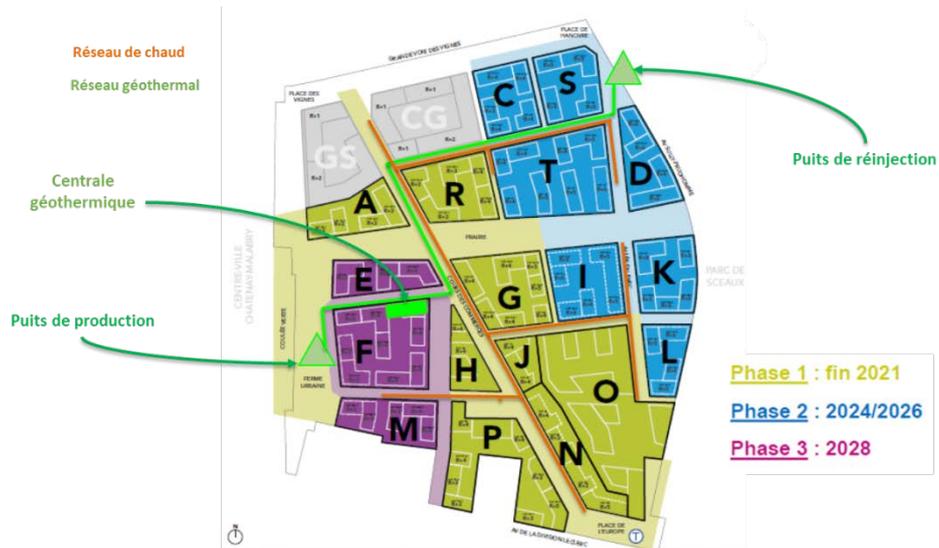


Figure 32: Phasage de livraison des différents lots de la ZAC

DEMANDE D'AUTORISATION DE RECHERCHE D'UN GITE GÉOTHERMIQUE A BASSE TEMPERATURE AU LUSITANIEN



2 DEMANDE D'AUTORISATION DE RECHERCHE D'UN GITE GEOTHERMIQUE A BASSE TEMPERATURE AU LUSITANIEN

2.1 Localisation du secteur d'étude

La commune de Chatenay-Malabry est située à l'extrémité sud du département des Hauts-de-Seine (92). A la périphérie est de la commune présentée sur la figure ci-dessous, le secteur d'étude correspond à l'ancien site de l'Ecole Centrale visé pour l'implantation d'une future ZAC La Vallée.

L'altitude du site est comprise entre +70 et 85 mètres NGF.

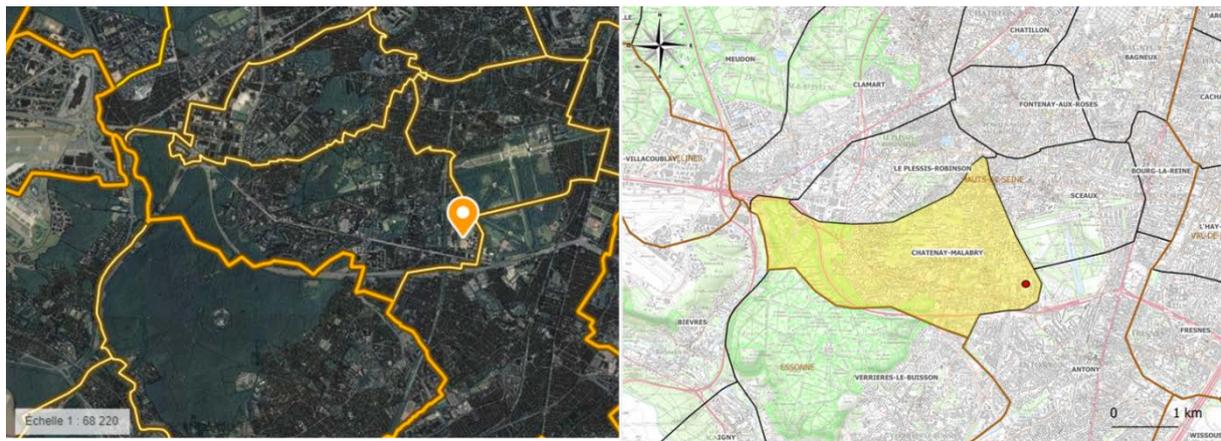


Figure 33 : Localisation du secteur d'étude



Figure 34: Localisation des parcelles cadastrales du secteur d'étude

Les emplacements prévisionnels des chantiers de forage se situent aux extrémités sud-ouest et nord-est de la ZAC. Le puits production sera l'ouvrage situé au sud-ouest, à proximité de la centrale de production thermique, et le puits de réinjection sera situé au nord-est de la plateforme.

Compte tenu de l'éloignement en surface des deux ouvrages du doublet, un réseau géothermique sera créé pour relier l'ouvrage producteur et l'ouvrage

Les coordonnées géographiques (système de projection : Lambert 93) des futures têtes de puits du doublet retenues pour le projet géothermique de Chatenay sont comprises dans un cercle de rayon 10 mètres centré autour des points suivants :

Puits producteur GCTM-3

- Implantation prévisionnelle de la tête de puits :

$$X = 647\,517 \pm 10 \text{ m}$$

$$Y = 6\,851\,738 \pm 10 \text{ m}$$

$$Z = + 80 \text{ m NGF}$$

Puits injecteur GCTM-4

- Implantation prévisionnelle de la tête de puits :

$$X = 647\,825 \pm 10 \text{ m}$$

$$Y = 6\,852\,001 \pm 10 \text{ m}$$

$$Z = + 80 \text{ m NGF}$$

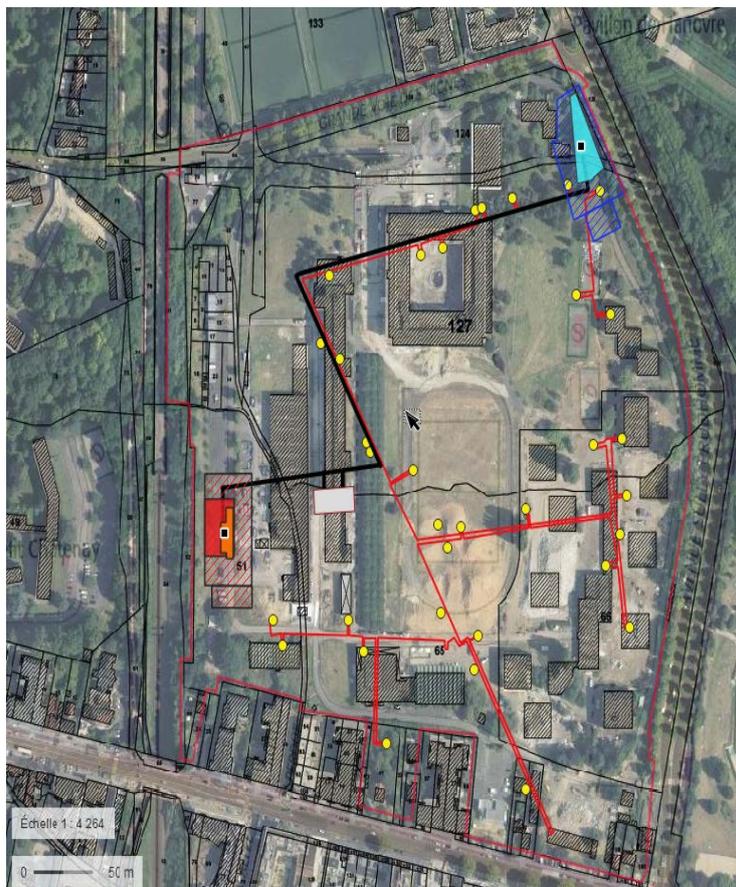


Figure 35 : Localisation des futures têtes de puits du doublet

2.2 Réseau de chaleur de surface

2.2.1 Un réseau de chaleur privé

La ville de Chatenay-Malabry ne s'inscrivant pas dans une démarche de planification / schéma directeur pour créer un Réseau de Chaleur Urbain (RCU) public fonctionnant avec les énergies renouvelable, les opérateurs de la ZAC ont sollicité Eiffage Energie Systèmes et Eiffage Concessions pour définir la faisabilité d'un RCU privé, pour les besoins strictement circonscrits géographiquement à la ZAC et suivant l'agenda de développement celle-ci.

La faisabilité de ce RCU privé est basée sur plusieurs études :

- Eiffage Energie Systèmes a mené des études de potentiels (étude BRGM) et de faisabilité (étude de capacité avec les besoins des opérateurs) ;
- Eiffage Concessions a mené des études économiques pour proposer une offre économique avec notamment un ticket de raccordement accepté par les opérateurs, une facture énergétique raisonnable pour les futurs acquéreurs et LIDL (qui sera aussi un usager) et un contrat d'exploitation ;
- L'association nationale AMORCE pour la gestion des réseaux de chaleur, de l'énergie et des déchets dénombre plus d'une centaine de réseaux privés en fonctionnement à ce jour.

Suite à la décision de créer ce RCU privé, Eiffage Energie Systèmes et Eiffage Concessions ont créé une société de projet pour développer le projet : Flowergy - Chatenay-Malabry, à l'instar des sociétés de projet déployées dans des aménagements similaires à Asnières / Flowergy - Asnières et à Clamart / Flowergy - Clamart.

Le programme immobilier à construire à terme sera composé des surfaces suivantes :

Usage	Surface de plancher	Pourcentage
Logement accession	132 496 m ²	61,14%
Logement social	16 202 m ²	7,48%
Bureau	33 106 m ²	15,28%
Commerces	14 354 m ²	6,62%
Groupe scolaire	17 931 m ²	8,27%
Crèche	760 m ²	0,35%
Gymnase	1 846 m ²	0,85%
Total	216 695 m²	100 %

Tableau 8 : Programme immobilier projeté sur la ZAC

2.2.2 Caractéristiques du réseau de chaleur planifié

La déconstruction des bâtiments étant achevée, les travaux VRD ont désormais commencé sur site depuis juillet 2019 et le réseau de chaleur est planifié pour être positionné comme les autres réseaux d'assainissement sous voirie.

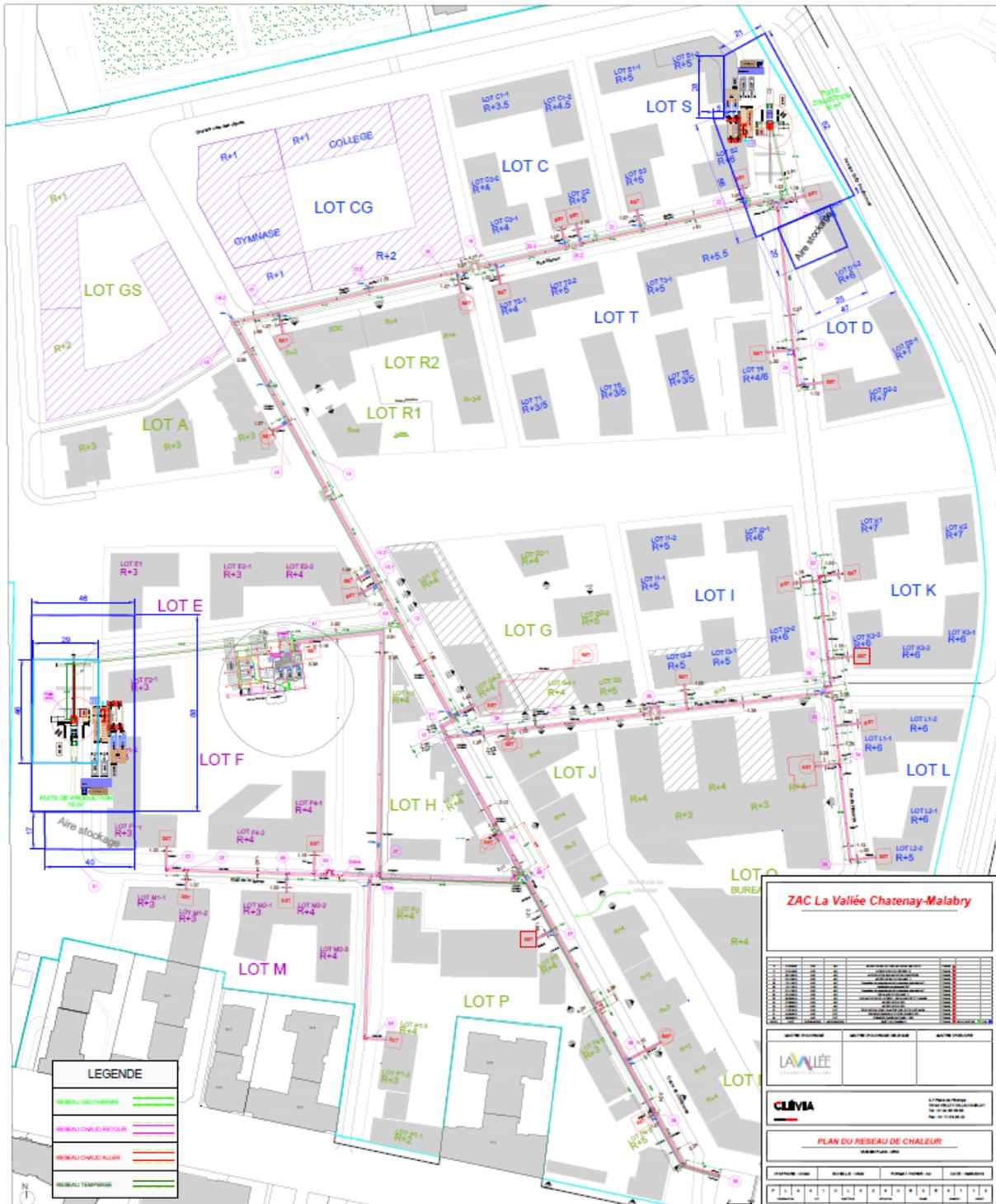


Figure 36: Réseau de chaleur planifié sur la ZAC La Vallée

Le réseau illustré sur la figure ci-dessus sera constitué des ouvrages suivants :

Réseau chaud		
DN	Longueur de tranchée (ml)	Total mètres par tranche
DN300	86	86
DN250	329	701
DN200	169	
DN150	203	
DN125	205	979
DN100	435	
DN80	339	
DN65	219	319
DN50	100	
Total		2085

Tableau 9 : Longueur et caractéristiques du réseau de chaleur

Le réseau de chaleur est complété par le réseau géothermique, réalisé en conduite en acier INOX 316L DN200 permettant de tenir les pressions de service importante des ouvrages géothermiques.

2.2.2.1 Puissance et sous-stations

Le nombre de sous-station augmentera dans le temps avec l'échelonnement de la livraison des différents ilots comme indiqué sur le tableau ci-dessous :

Les sous-stations sont équipées d'un échangeur pour la production d'eau chaude sanitaire (prioritaire) et d'un échangeur pour le chauffage. Les installations secondaires, dont l'interface est la vanne d'isolement aval des échangeurs de chaleur est réalisée par chacun des promoteurs dans le cadre de leur construction. Les installations secondaires, dont l'interface est la vanne d'isolement aval des échangeurs de chaleur sera réalisée par chacun des promoteurs dans le cadre de leur construction.

Année	Chaud		
	Energie vendue en sous-station (MWh)	Nombre de Ss stations	Puissance souscrite cumulée (kW)
2022	4289	15	3719
2022	5536	5	4496
2023	8743	8	6749
2025	8743	0	6749
2026	11150	5	8444
2027	13140	5	9837

Tableau 10: Nombre de sous-stations et leurs puissances souscrites dans le temps

2.2.2.2 Chaufferie Centralisée

La chaufferie centralisée est mise en place dans le lot F. Elle est adossée, en conformité aux règles constructives existantes à un ilot de logements sociaux.

La définition de la coque de la chaufferie est réalisée dans le double objectif d'assurer une exploitation et une maintenance aisée des équipements de process d'une part et pour contenir l'intégralité des équipements de process d'autre part.

La chaufferie centralisée est elle-même composée de plusieurs zones :

- Zone géothermie

L'objet de cette zone est d'assurer le traitement de l'eau géothermale et son conditionnement pour assurer l'échange de calories avec le réseau de chaleur ainsi que son renvoi dans de bonnes conditions vers le puits de réinjection. A ce titre, sont mis en œuvre :

- Un dispositif d'injection de produit inhibiteur de corrosion. Le but de ce produit est d'injecter au niveau du Groupe Electro-Immergé (GEI), une petite quantité d'inhibiteur de corrosion, dont l'objet est de maintenir dans un état de fonctionnement correct toutes les canalisations en INOX situées en aval du Groupe Electro-Immergé.
- Un système de filtrage, type filtration Bernouilli, qui permet de dégriller puis d'assurer un filtrage fin (typiquement 200 µm) de l'eau géothermal. Le dimensionnement de ces filtres est réalisé en 2 * 100 %, de manière à pouvoir assurer la filtration même lorsqu'un filtre est en phase de rétro-lavage,
- Un vase d'expansion et des soupapes permettant de relâcher de faibles volumes d'eau géothermal en cas de montée en pression accidentelle du circuit géothermal (coup de bellier),
- Un compteur permettant de déterminer l'énergie disponible au niveau de l'aquifère géothermal,
- Des collecteurs permettant de distribuer à chacun des consommateurs l'eau géothermal,
- Des échangeurs permettant de réaliser le transfert d'énergie entre le circuit géothermal et les divers consommateurs de chaleur parmi lesquels :
 - Pré-chauffage des retours du réseau de chaleur – échangeur d'une puissance maximale de 6 MWth,
 - Dissipation du froid issue des évaporateurs des pompes à chaleur eau-eau pour une puissance de chaque tandem – échangeur d'une puissance maximale de 2,5 MWth unitaire,

La constitution métallurgique de ces échangeurs sera à finaliser ultérieurement en fonction de l'analyse de l'eau géothermale.

- Les panoplies associées aux échangeurs et permettant d'en assurer la maintenance et l'exploitation :
 - ❖ Vannes d'isolement,
 - ❖ Vanne de régulation,
 - ❖ Robinet d'équilibrage,
 - ❖ Purge et vidange,
 - ❖ Capteurs de température,
 - ❖ Thermomètres,
 - ❖ Manomètre avec montage différentiel permettant de caractériser l'encrassement des échangeurs,
- La pompe de réinjection permettant d'assurer la normalisation de la pression du circuit géothermal pour assurer une ré-injection dans le puits géothermal.

- Zone groupe de maintien de pression et traitement d'eau

L'objet de ce groupe d'équipements est d'assurer le conditionnement de l'eau pour le premier remplissage du réseau de chaleur et du réseau tempéré, d'en assurer le conditionnement durant la durée totale de l'exploitation et de la maintenance de la chaufferie centralisée. Les équipements requis sont les suivants :

- Pot à boue, permettant de traiter 10 % environ du débit maximal du réseau de chaleur et positionné sur le retour du réseau de chaleur,
- Alimentation en eau, constitué d'une arrivée eau de ville, d'un disconnecteur et d'un compteur d'eau,
- 2 adoucisseurs d'eau, permettant d'assurer la production d'eau adoucie nécessaire à l'appoint des réseaux d'eau tempéré et d'eau chaude du RCU,
- Les groupes de maintien de pression du RCU d'une part et la ballon d'expansion pour le réseau d'eau tempéré,
- Le puisard permettant d'accepter toutes les purges des différents circuits, leur éventuel conditionnement avant renvoi dans le milieu naturel,

- Zone pompage réseau

L'objet de ce groupe d'équipements est d'assurer la mise en mouvement du fluide caloporteur (eau chaude pour le RCU et eau tempérée pour le réseau d'eau tempérée). Les équipements requis sont les suivants :

- Pompes de réseau de caractéristique unitaire 315 m³/h – 80 mCE. Le design a été réalisé sur 3 * 50 %, soit une pompe de secours, permettant d'assurer la fonction même si une des pompes est défectueuse ou doit subir une intervention de maintenance non programmée.
- Pompe de réseau de caractéristique unitaire 100 m³/h – 40 m mCE pour le réseau d'eau tempéré. Le design a été réalisé sur 2 * 100 %.
- Les compteurs d'énergie associés au réseau d'eau tempérée et d'eau chaude pour les 2 réseaux concernés,
- Les vannes d'isolement des réseaux au niveau de l'arrivée des réseaux dans la chaufferie centralisée,
- Les by-pass pour chacun des réseaux.
- La bouteille de découplage permettant de dissocier hydrauliquement le circuit du réseau de chauffage urbain et la distribution interne vers les équipements de la chaufferie centralisée.

- Zone chaudière gaz

L'objet de ce groupe d'équipements est d'assurer la mise en température du réseau d'eau tempéré et du réseau de chaleur en appoint de la géothermie ou en secours de la géothermie, lors des opérations de maintenance de celle-ci. Les équipements requis pour réaliser cette fonction sont :

- 2 chaudières gaz naturel à condensation d'une puissance unitaire de 3,8 MWth et 1 chaudière gaz naturel à condensation d'une puissance unitaire de 2,5 MWth,
- La distribution de l'eau sur les chaudières assurée par une boucle de Tickelman ainsi que les organes nécessaires pour l'exploitation et la maintenance des chaudières.

- La panoplie d'alimentation en gaz naturel de la chaufferie équipée de son coffret pompier extérieur et des différents organes de sécurité et de comptage réglementaire. La pression d'alimentation des chaudières au gaz est définie à 300 mbar depuis le réseau de gaz de GRDF sans poste de détente intermédiaire.
- Les pompes de circulation du fluide dans la chaudière avec le retour par vanne 3 voies depuis la sortie chaudière.
- Les capteurs de température associés.
- Les soupapes associées à la chaudière ayant pour but de la protéger contre des montées en pression accidentelles.
- Les robinets d'équilibrage entre les différentes chaudières.
- Le compteur d'énergie associé à la production chaudière au gaz naturel,

- Zone PAC

L'objet de ce groupe d'équipements est d'assurer le réchauffage de l'eau chaude pour le réseau RCU de manière prioritaire par rapport à l'utilisation des chaudières gaz. Les équipements requis sont :

- 2 tandems de PAC eau/eau. Les PAC sont munies de compresseur entraînés par des moteurs électriques et disposent d'un condenseur fonctionnant sous un régime de température de 48°C/63°C et d'un évaporateur fonctionnant sous un régime compatible avec le réseau géothermal.
- La pompe commune avec la zone Chaudière permettant la mise en circulation de l'eau issue de la bouteille de découplage vers chacune des PAC,
- Les panoplies associées au condenseur des PAC, notamment :
 - Vanne d'isolement du circuit du condenseur,
 - Robinet d'équilibrage,
 - Vanne de mise en série / parallèle des condenseurs du tandem,
 - Capteurs de pression,
 - Manomètres et thermomètres
- Les panoplies associées à l'évaporateur des PAC, notamment :
 - Vanne d'isolement du circuit du condenseur,
 - Robinet d'équilibrage,
 - Vanne de mise en série / parallèle des condenseurs du tandem,
 - Capteurs de pression,
 - Manomètres et thermomètres
- Le compteur d'énergie associé à la production PAC,
- Zone électricité / contrôle-commande

Du fait de l'utilisation de PAC eau/eau pour la production d'eau chaude, les puissances électriques installées sont importantes et il y a lieu de mettre en place un point d'alimentation 20 kV depuis le réseau d'électricité ENEDIS.

- Poste HTA « tarif vert » pour raccordement sur le réseau 20 kV ENEDIS
- Transformateur HTA/BT d'une puissance de 1600 kVA
- TGBT pour la distribution du courant 400 V tri
- Alimentation électrique en câble BT des PAC

- Alimentation électrique en câble BT des pompes et auxiliaires de la chaufferie
- Alimentation électrique en câble BT du groupe électro-immersé,
- Alimentation d'un onduleur pour les circuits secourus,
- Reprise de tous les instruments (niveau 0) sur des automates programmables industriels (niveau 1),
- Réalisation des analyses fonctionnelles et programmation des automates,
- Programmation de la supervision et réalisation des vues d'animation de conduite,

Enfin la chaufferie centralisée sera équipée d'équipements annexes permettant sa bonne exploitation, tels que massifs de propreté et d'inertie, ouvrages de serrurerie métallique pour accéder aux équipements.

Le dépôt du permis de construire de la chaufferie centralisée est en cours de finalisation.

A titre d'information, des vues de ce bâtiment sont données dans la figure suivante.

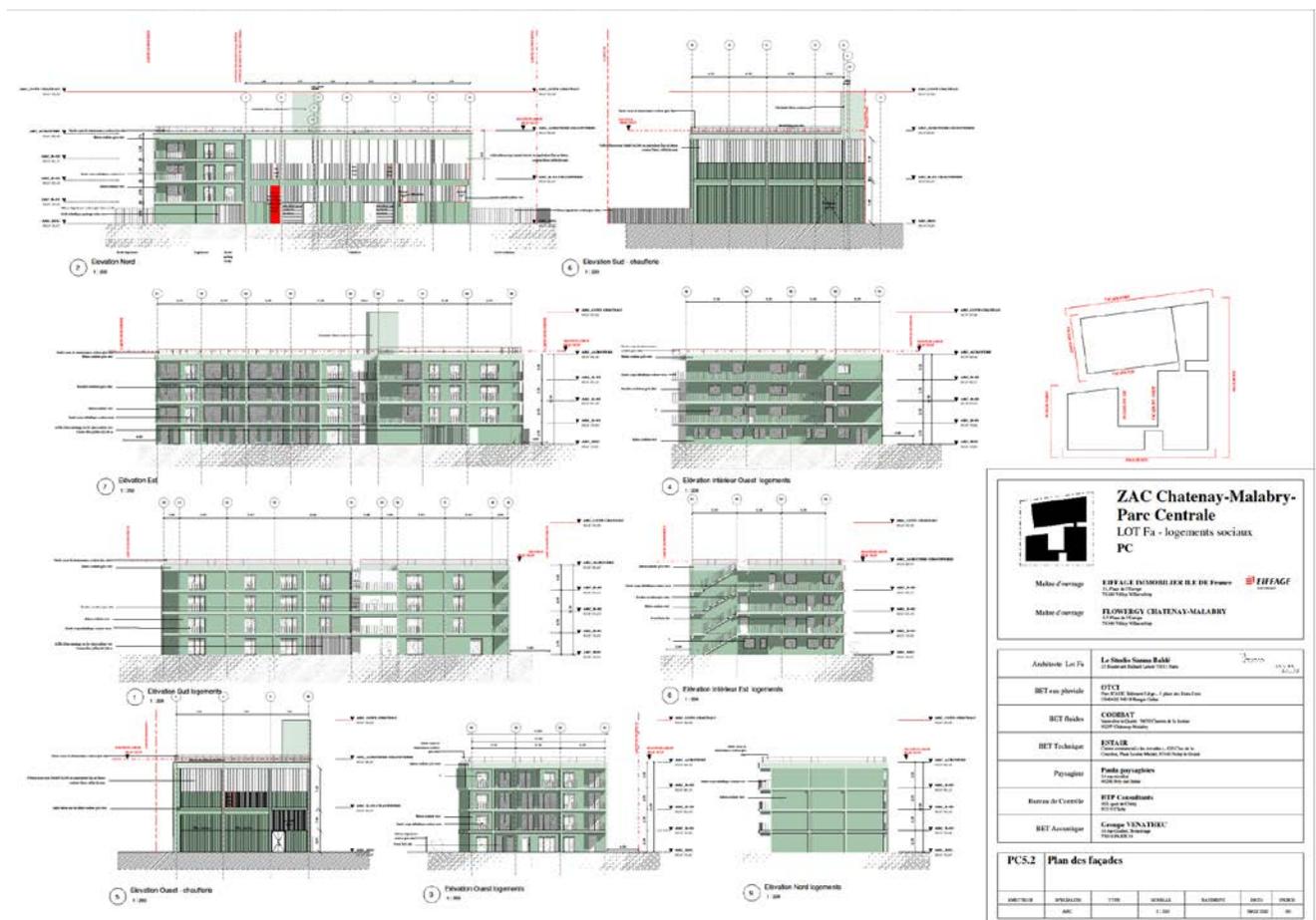


Figure 37: Plans de façade de la chaufferie centralisée et du bâtiment social dans le lot F

2.2.2.3 Evolutions du réseau après sa construction

A ce stade du projet, le réseau ne dessert que les bâtiments de l'aménagement et est donc strictement circonscrits à la zone concernée par l'aménagement. Des éventuels raccordements ultérieurs sont envisagés, aucune information n'est actuellement disponible sur la puissance, l'énergie, le tracé et la desserte envisagée pour les usagers extérieurs à l'aménagement. Ce point sera traité en opportunité postérieure à l'établissement de la ZAC.

Le matériel associé à l'infrastructure du réseau de chaleur demeure dans la propriété de Flowergy Chatenay-Malabry jusqu'à la fin du contrat liant l'ASL et Flowergy Chatenay-Malabry. Au terme du contrat, la propriété du matériel associé à l'infrastructure revient à l'ASL, dans un état d'entretien et d'usage conforme à la continuation de l'activité. L'ASL fera son affaire de choisir un exploitant à l'issue du terme du contrat, sachant que les installations seront alors amorties.

2.2.2.4 Emissions de CO2 évitées grâce à ce réseau de chaleur

Le projet de géothermie permet d'économiser 2028 t de CO₂éq, sur la base du référentiel Carbone ADEME (i.e. 241 gCO₂/KWh PCI pour le gaz et 180 gCO₂/KWh pour l'électricité).

Le contenu CO₂ du réseau attendu est de l'ordre de 75 gCO₂/KWh livré.

2.3 Caractéristiques de l'horizon géologique ciblé

2.3.1 Contexte géologique global

Au droit du Bassin Parisien existe une succession de couches géologiques de natures variées résultant de phases d'immersion ou d'émersion des terres, puis d'apport d'alluvions par la Seine pour ce qui concerne les niveaux les plus récents.

Ces couches géologiques ne sont ni uniformes ni régulières. Elles subissent des variations latérales de faciès, parfois rapides, en fonction de la position des anciennes rives, anciens chenaux marins ou anciens lits du fleuve, ce qui explique certaines hétérogénéités du réservoir au sein du Bassin Parisien.

Sous un placage constitué par les formations les plus récentes attribuées à l'ère géologique du Tertiaire (ou Cénozoïque), la stratigraphie du Bassin Parisien est largement dominée par des dépôts sédimentaires attribués à l'ère Secondaire (ou Mésozoïque). Celle-ci est subdivisée en trois systèmes, du plus récent au plus ancien : le Crétacé, le Jurassique et le Trias.

La coupe stratigraphique suivante fait apparaître les nappes souterraines contenues dans les principales formations perméables (aquifères) du bassin.

La partie la plus profonde du Bassin se situe au droit de la zone de Meaux-Coulommiers. Lorsque l'on se déplace vers l'est ou l'ouest, les niveaux remontent sur les flancs du bassin (Cf. Figure 38). Cette structure est associée à une anomalie locale du gradient géothermique dont la valeur moyenne de 3°C/100 mètres est portée à 3,6°C/100 m en Ile de France, avec un maximum anormal au droit de Melun.

Sous la région parisienne, les températures du Lusitanien sont de l'ordre de 25 à 65°C.

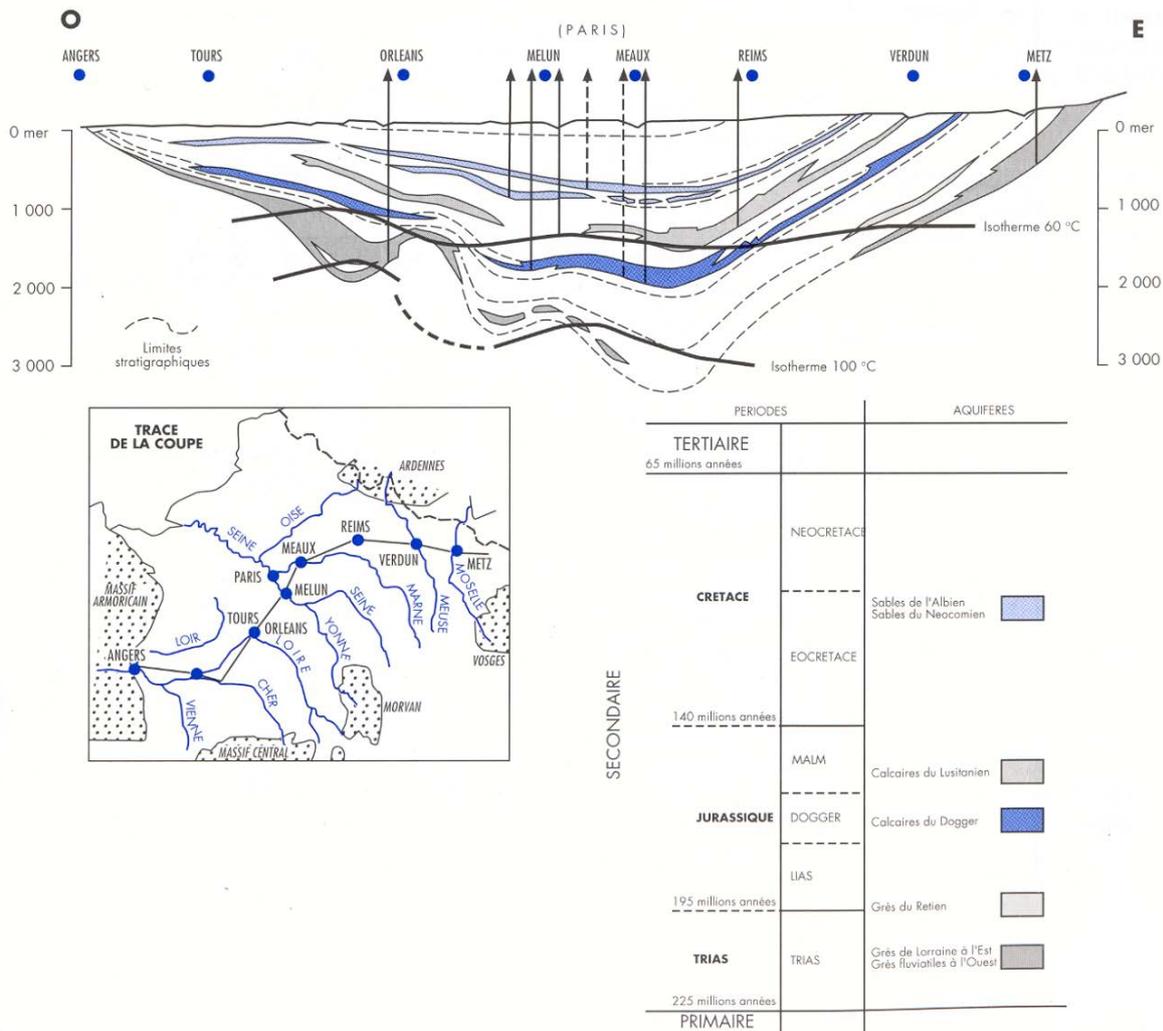


Figure 38 : Coupe géologique schématique du Bassin Parisien

2.3.2 Contexte géologique du secteur d'étude

Le contexte géologique du secteur d'étude est donné par la carte géologique au 1/50 000^{ème} de Corbeil-Essonnes et place la commune de Chatenay-Malabry dans la région de l'Hurepoix.

D'après les études géotechniques SOLER Conseil et SEMOFI réalisées sur la parcelle d'étude, les premiers mètres présentent des faciès variés comprenant de la terre végétale limoneuse et des limons plus ou moins sableux et légèrement argileux.

Ces limons, attribués au Quaternaire et amenés par la Bièvre, reposent sur les formations du Priabonien (e7b et e7c) (dits Marnes et Masses du gypse ou Calcaire de Champigny et Marnes supragypseuses (Cf. Figure ci-dessous)

Au droit et à proximité du projet, les terrains sub-affleurant et non-affleurant suivants poursuivent la série du Tertiaire du plus récent au plus ancien :

Les formations du **Tertiaire** :

- les formations bartoniennes (Eocène supérieur) du Calcaire de St-Ouen (Calcaire argileux rosâtre) et des Sables de Beauchamp (Marne sableuse bleuâtre) ;
- puis les formations lutétiennes (Eocène moyen) des Marnes (Marnes grise blanchâtre puis bleuâtre) et caillasses lutétiennes et du Calcaire Grossiers d'Ile-de-France (Calcaire sableux gris blanchâtre) ;
- et yprésiennes (Eocène inférieur) des Sables et argiles du Soissonnais (Alternance d'argile sableuses noires et de sables gris riches en lignite).

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

- la craie du Sénonien et du Turonien ;
- les calcaires argilo-gréseux du 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 ;
- les calcaires dolomitiques du Berriasien (à faciès Purbeckien).

Les formations du **Jurassique** sont représentées par

- les calcaires du Portlandien,
- les marnes du Kimméridgien,
- les calcaires du Séquanien et du Rauracien (Lusitanien),
- les calcaires de l'Oxfordien pour l'ensemble du Jurassique Supérieur (Malm).

L'aquifère cible est représenté par les calcaires graveleux et oolithiques du Lusitanien.

L'aquifère de repli du Néocomien est défini par les dépôts sableux continentaux du Néocomien/Wealdien.

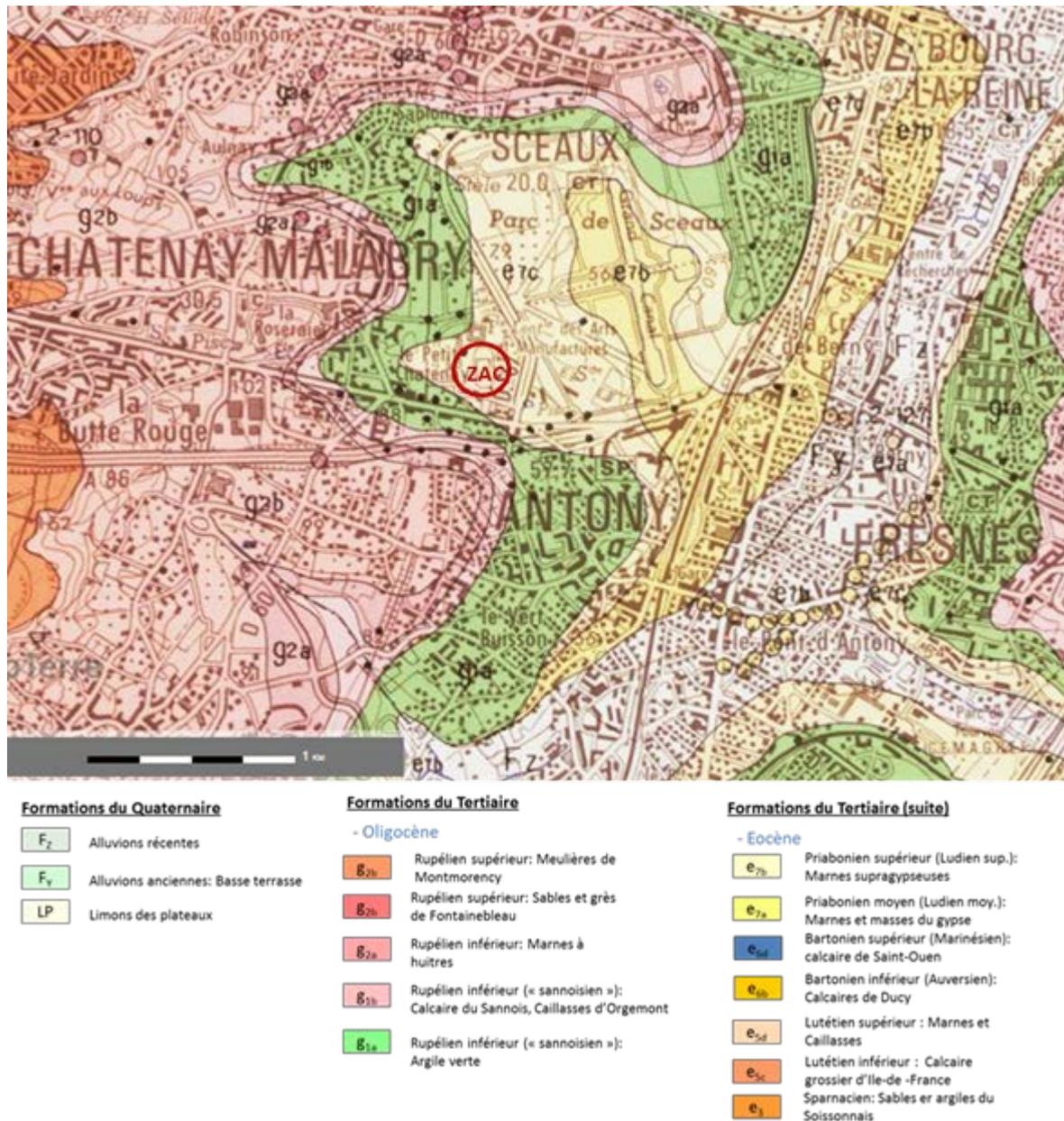


Figure 39 : Extrait de la carte géologique (1/50 000ème) de Corbeil-Essonnes

Le point de départ de la coupe géologique prévisionnelle est déterminé par l'altitude du site soit environ + 80 mètres NGF.

Pour construire cette coupe (Cf. Figure suivante), plusieurs forages ont été sélectionnés en fonction de leur proximité par rapport au secteur d'étude et de la profondeur atteinte par les ouvrages. Pour la finalisation de la coupe géologique, le modèle géologique LISA du BRGM et sa base de données ont été analysés en parallèle.

Les sondages situés sur les communes de Chatenay-Malabry et d'Antony, retenus pour la réalisation de la partie sommitale de la coupe prévisionnelle (de la surface jusqu'au toit de la craie du Sénonien)

en raison de leur proximité (maximum 600 mètres) au site envisagé et la qualité des descriptions lithologiques, sont les suivants:

- indice BSS : 02192X0162/S38 – profondeur atteinte 52 mètres ;
- indice BSS : 02192X0300/C17 – profondeur atteinte 128 mètres ;
- indice BSS : 02192X0163/S39– profondeur atteinte 70 mètres ;
- indice BSS : 02192x0281/S1A– profondeur atteinte 45 mètres ;
- indice BSS : 02192X0282/S2A– profondeur atteinte 45 mètres.

Pour les niveaux géologiques profonds compris entre le Turonien et le Purbeckien, les données des forages géothermiques de Chatenay-Malabry (GCTM-1 / GCTM-2) et du Plessis-Robinson (LPR-1 / LPR-2) à l'ouest et de Fresnes (GFR-1 / GFR/2 / GFR-3) à l'est, distants respectivement d'environ 2,4 km, 3,1 km et 3,2 km par rapport au site de la future ZAC, ont été pris en compte.

Compte tenu de l'éloignement des forages géothermiques profonds par rapport au secteur d'étude et du pendage des couches profondes, une incertitude de ± 30 mètres est imposée pour les toits des formations comprises entre l'Albien (Crétacé inférieur) et l'Argovien (Jurassique supérieur).

Etant donné le faible écartement entre les deux plates-formes, la coupe géologique sera identique pour les deux puits du doublet.

Au droit du site de la ZAC, le toit du réservoir du Lusitanien (Calcaires du Séquanien) se trouve à une profondeur verticale d'environ 1250 mètres soit - 1170 m NGF.

Série Stratigraphique prévisionnelle			ZAC Chatenay Malabry				
Sous-système	Etage	Sous Etage	Toit (m NGF)	Toit (m/sol)	Epaisseur (m)	Lithologie	Caractère
Quaternaire			80	0	2	Remblai, limons, alluvions	Non aquifère
Tertiaire	Rupélien	Sannoisien	78	2	7	Glaise argilo-calcaire (glaises à Cyrènes), argile verte (Argile verte de Romainville)	Non aquifère
	Priabonien	Ludien	71	9	33	Marnes beiges puis bleues (Marnes de Pantin et d'Argenteuil), marnes supragypseuses et niveaux de gypse (Marnes et masses du gypse)	Aquifère
	Bartonien	Marinésien Auversien	38	42	18	Sables argileux verdâtres (Sables d'Auvers et de Beauchamp), calcaire beige argileux puis gypseux (Calcaire de Saint-Ouen), sable argileux (Sables de Monceau)	Aquifère
	Lutétien		20	60	39	Glauconie grossière, Calcaire grossier, Calcaire à Miliolles, Marnes et Caillasses	Aquifère
	Yprésien	Cusien Sparnacien	-19	99	31	Argile silteuse noire à lignite, sable moyen à grossier, argile sableuse (plastique)	Aquifère
Crétacé supérieur	Sénonien		-50	130	250	Craie blanche grisâtre à silex jusqu'à fine en remontant la série	Aquifère
	Turonien		-300	380	170	Craie grise à silex	Non aquifère
	Cénomaniens		-470	550	50	Calcaire silto-sableux argileux	Non aquifère
Crétacé inférieur	Gault	Albien supérieur	-520	600	40	Argiles gris foncé puis verte	Non aquifère
	Albo-Aptien		-560	640	110	Sable glauconieux et argileux (Sables verts), argiles noires (Argiles tégulines), marnes compacts gris clair (Marnes de Brienne)	Aquifère
	Barrémien		-670	750	60	Sables et argiles panachés	Non aquifère
	Néocomien-Wealdien		-730	810	90	Sables, argile, lignite	Aquifère
	Purbeckien		-820	900	130	Marnes et dolomies	Non aquifère
Jurassique supérieur	Portlandien		-950	1030	130	Calcaire M, lgt argileux et quelques passées de marne silteuse	Non aquifère
	Kimmeridgien		-1080	1160	90	Marne gris silteuse à sableuse, qq's intercalations calcaires	Non aquifère
	Séquanien	Lusitanien	-1170	1250	90	Calcaire W/P graveleux argileux	Aquifère
	Rauracien		-1260	1340	70	Calcaire G oolithique poreux	Aquifère
	Argovien		-1330	1410		Marne gris clair silteuse	Non aquifère

Tableau 11 : Coupe géologique prévisionnelle au droit du secteur d'étude

2.3.3 Lithologie de l'aquifère du Lusitanien

Le terme de Lusitanien désigne les dépôts essentiellement carbonatés, compris entre les deux séries marneuses du Kimméridgien et de l'Oxfordien et qui renferment des niveaux aquifères le Séquanien et le Rauracien. Cette unité est bien individualisée sur la quasi-totalité du Bassin Parisien.

Principaux faciès

Les séries géologiques du Lusitanien correspondent à un cycle de sédimentation qui présente de nombreux caractères communs avec celui du Dogger.

Entre deux épais niveaux marneux (Kimméridgien et Oxfordien), les calcaires du Lusitanien correspondent à une sédimentation marine lors d'une phase chaude, à l'abri de tout apport détritique. Pour la majeure partie de cette masse calcaire, la sédimentation s'est effectuée dans des zones calmes, d'où la formation de calcaire fin et compact. En certains endroits, des épisodes correspondent à une sédimentation « active », c'est-à-dire dans des zones de courant. C'est dans ces conditions que ce sont formés les calcaires oolithiques ou graveleux qui offrent une porosité de matrice. On les rencontre surtout au nord-ouest et au centre du Bassin Parisien.

En bordure des massifs émergés, on trouve des dépôts détritiques grossiers tels que les sables et les grès, localisés principalement à la partie supérieure du Lusitanien au nord du bassin.

Les réservoirs

Trois niveaux aquifères sont schématiquement distingués en fonction de leur position relative :

- Le réservoir « supérieur » : développé au sud du bassin, on le rencontre localement au centre et au nord-ouest ; formé d'un banc peu épais de calcaires oolithiques et de calcaire récifal, il s'épaissit au sud en prenant un aspect crayeux.
- Le réservoir « principal » : il constitue la principale unité aquifère du Lusitanien ; il est formé par des calcaires oolithiques et graveleux au centre du bassin ; au sud de la Seine, il passe à un calcaire crayeux puis disparaît ; au nord-ouest, les niveaux détritiques grossiers dominent (sable, grès).
- Le réservoir « inférieur » : il est développé seulement au nord du Bassin Parisien ; au nord-ouest, il est constitué par des calcaires oolithiques avec des passages récifaux ; entre l'Oise et la Marne, il est formé par une épaisse série crayeuse qui passe latéralement près de Meaux, à des calcaires oolithiques, la formation étant alors en continuité avec le réservoir « principal » ; cet horizon devient marneux au sud de la Marne.

2.3.4 Contexte hydrogéologique du Dogger

Aucun doublet géothermique ne cible actuellement l'aquifère du Lusitanien dans le Bassin Parisien, mais il présente :

- Une productivité reconnue lors de la réalisation du forage géothermique à Orly (GORV-2). Testé en cours de forage jusqu'à 150 m³/h (Excellente transmissivité 95 D.m);
- Deux zones productrices (30 et 45 m d'épaisseur) identifiées au puits géothermique GIV-2, avec une porosité > 20% ;
- Une productivité avérée lors de travaux de réhabilitation des doublets géothermiques au Dogger à Alfortville, Meaux et Fresnes;

- Des descriptions lithostratigraphiques lors des forages géothermiques de Chatenay-Malabry, Bagneux, Fresnes, Porte-Saint-Cloud... reconnaissant la présence de Calcaire oolithique et graveleux constitué d'oolithes hétérométriques bien formée peu ou pas cimentées ;
- Sur l'ancien doublet de Chatenay-Malabry: le Lusitanien présente une épaisseur totale de 130 à 150 m et témoigne de la présence de calcaires oolithiques libres ou peu cimentés au Séquanien et Rauracien.

Les faciès de calcaires oolithiques sont particulièrement productifs et semblables aux horizons très producteurs du Dogger (Calcaire du Bathonien).

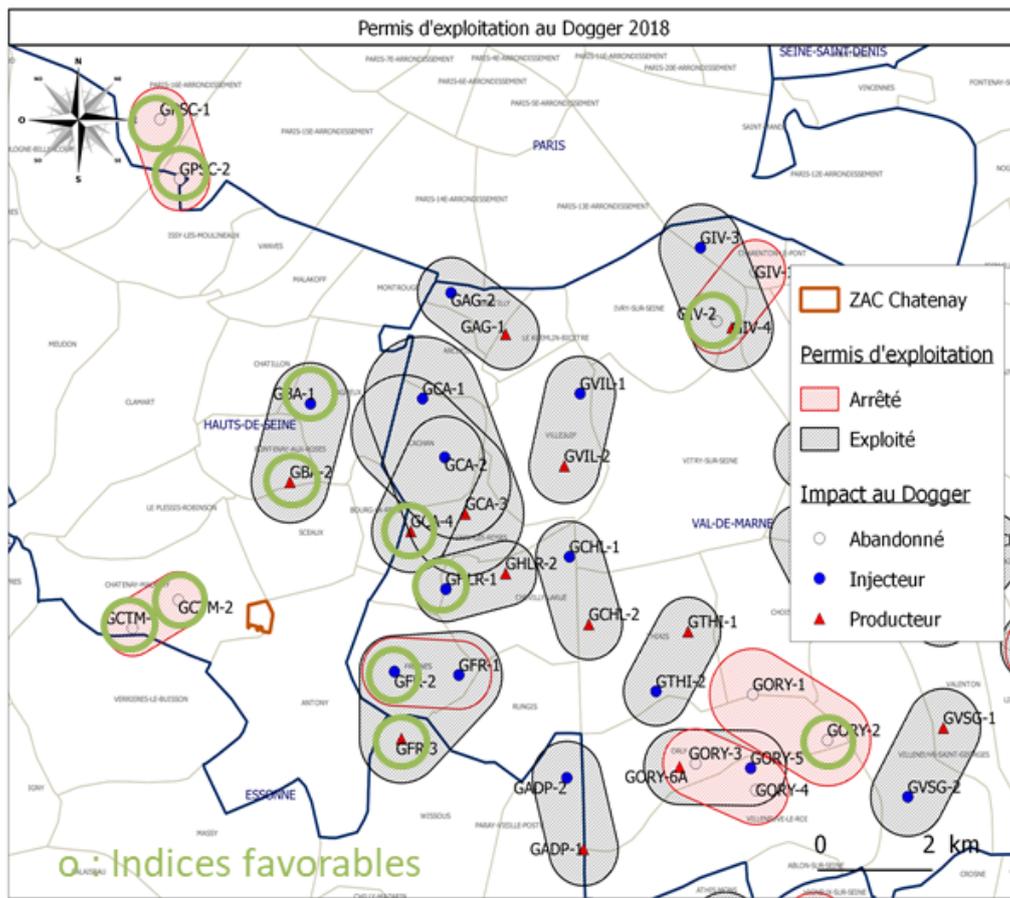


Figure 40 : Localisation des indices favorables du Lusitanien dans le secteur d'étude

Le rapport du BRGM RP-63244-FR fait état de la présence du réservoir principal avec des niveaux poreux et perméables au droit de Chatenay-Malabry (Cf. Figure 41).

Tous ces éléments indiquent que cet horizon peut très probablement présenter les caractéristiques requises pour l'exploitation d'un futur doublet géothermique et couvrir les besoins de la ZAC.

Compte tenu l'absence de données hydrodynamiques disponibles sur l'aquifère du Lusitanien, des hypothèses pessimistes seront prises pour le calcul des performances des futurs ouvrages.

En effet, malgré une transmissivité estimée à Orly de l'ordre de 95 D.m, le caractère exploratoire du projet impose de prendre des hypothèses de productivité et injectivité nettement plus faibles.

Ces dernières sont reportées ci-dessous :

- Productivité : $20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{bar} \pm 10$;
- Injectivité : $20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{bar} \pm 10$.

Au droit du site d'étude, l'épaisseur totale des niveaux producteurs est estimée entre **40 et 50 mètres** pour une épaisseur captée de l'ordre de 160 mètres (Séquanien et Rauracien).

Ce paramètre influencera davantage les volumes du réservoir mis en jeu et aura tendance à accélérer le recyclage thermique au sein d'un doublet à mesure que l'épaisseur est réduite.

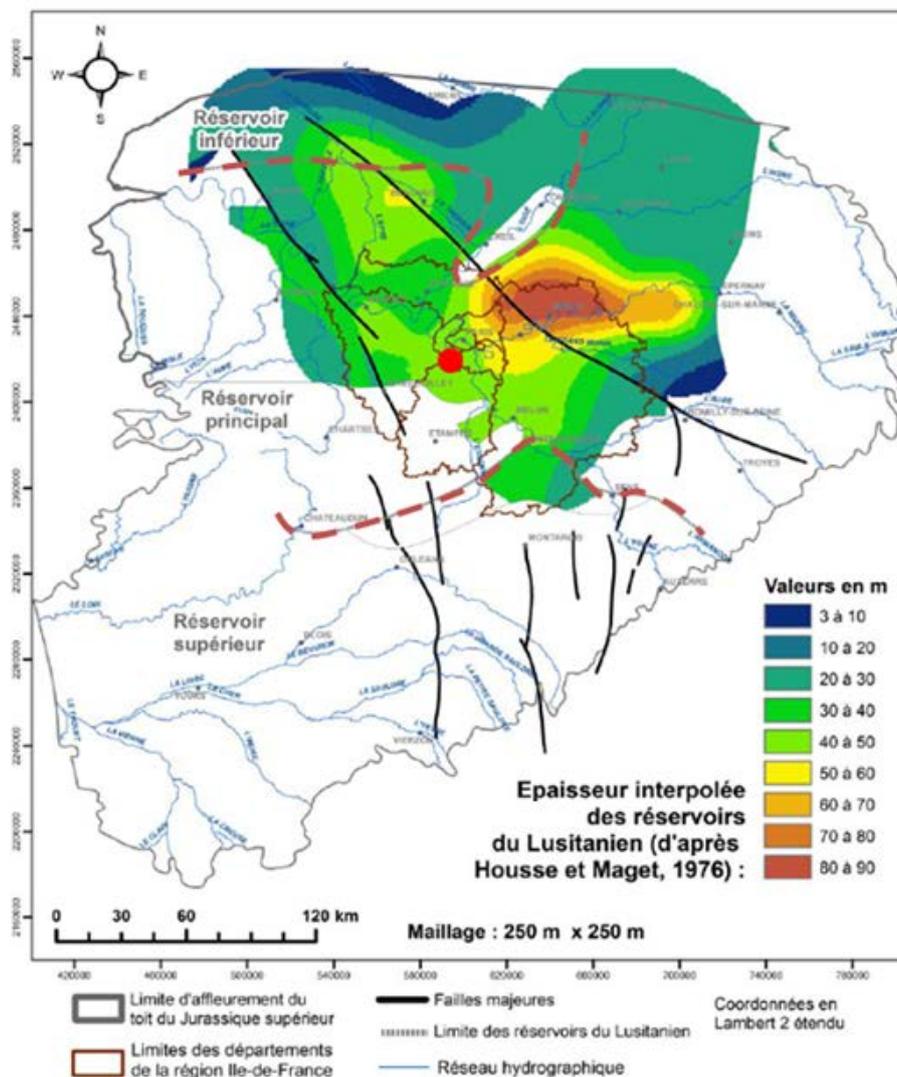


Figure 41 : Carte d'iso-épaisseur productrice (en mètres) du Lusitanien (BRGM)

La carte géostatistique interpolée du BRGM ci-dessous permet d'évaluer la température du réservoir au droit du secteur d'étude. **La température retenue au toit du réservoir est de l'ordre de $55 \pm 5^\circ\text{C}$;** soit en tête de puits une température attendue de l'ordre de $54 \pm 5^\circ\text{C}$.

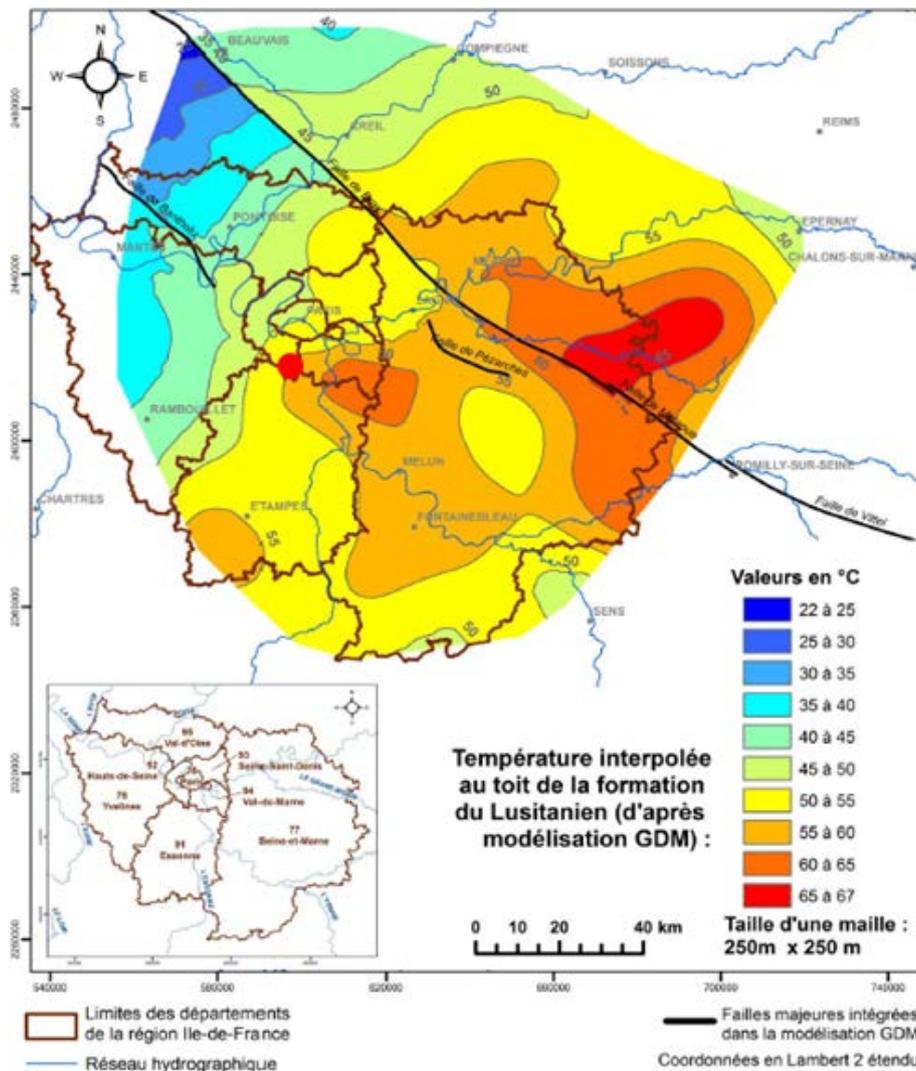


Figure 42 : Carte d'iso-température (en Degré Celsius) du Lusitanien (BRGM)

Les caractéristiques prévisionnelles de l'aquifère du Lusitanien à l'aplomb de la ZAC sont les suivants:

- Profondeur prévisionnelle : 1250 m ± 30 m ;
- Température prévisionnelle : 55 ± 5°C ;
- Débit exploitable estimé entre 100 à 150 m³/h ;
- Puissance thermique maximale de 6,1 MW (Q=150 m³/h, ΔT=35°C) ;
- Puissance thermique moyenne de 4,3 MW (Q=125 m³/h, ΔT=30°C).

2.3.5 Qualité de l'eau géothermale

Prélevée lors de travaux de work-over sur des ouvrages géothermiques au Dogger notamment à Meaux et Alfortville, l'eau géothermale du Lusitanien apparait très minéralisée, de type chlorurée sodique. Elle est par conséquent corrosive.

Le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques chimiques principales relevées sur l'ouvrage au Dogger GAL-2 d'Alfortville lors de travaux liés à des percements du tubage au droit du Lusitanien. Les caractéristiques des fluides du Dogger au droit de Fresnes sont présentés à titre indicatif.

Il est noté que l'eau géothermale du Lusitanien est probablement deux fois moins minéralisée que l'eau issue du Dogger avec néanmoins de plus fortes concentrations en sulfates.

Des facteurs aggravants de la corrosion tels que l'activité bactérienne ou la teneur en sulfure, déjà connus au Dogger, pourront accentuer ces phénomènes. En effet le caractère réducteur de l'eau géothermale et la forte teneur en sulfates sont propices développement de bactéries sulfato-réductrices.

La présence de gaz au sein du fluide géothermal n'a pas été mesurée mais est probablement présente. Ces gaz dissous peuvent être dommageable aux équipements dès lors que la pression de point de bulle n'est pas respectée. A titre indicatif sur des ouvrages au Dogger la teneur en gaz dissous représente un volume de 10 à 20 % (Gaz Liquid Ratio) en moyenne du fluide géothermal.

D'autre part, la teneur en sulfures dans le fluide géothermal est naturellement présente, ce qui amène à ne pas préconiser une exploitation en artésianisme en raison du risque de dépôts et d'encrassement des tubages. La mise en œuvre d'un traitement par inhibiteur de corrosion est implicite en cas de réalisation de puits en acier.

Dans le secteur d'étude, la salinité de l'eau du Lusitanien retenue est de l'ordre de **8 ±2 g/L**.

Ouvrages au Dogger		Salinité totale en g/L	pH	Cations majeurs en meq/L	Anions majeurs en meq/L	Na ⁺ en mg/L	Cl ⁻ en mg/L	Ca ²⁺ en mg/L	SO ₄ ²⁻ en mg/L	Provenance des données géochimiques
Alfortville	GAL-2 (P)	7,7	-	128	136	2 381	2 700	265	2 551	Fluide du Lusitanien. Travaux 2014
Fresnes	GFR-2 (P)	13,2	6,5	223	229	4 239	7 330	525	806	Fluide du Dogger. Moyenne des relevés entre 2010 et 2018.
	GFR-3 (P)	12,8	6,5	213	226	4 071	7 222	494	809	

Tableau 12 : Valeurs moyennes des principaux paramètres chimiques mesurés aux puits du secteur d'étude

2.4 Caractérisation de la ressource géothermale au Néocomien

2.4.1 Lithologie de l'aquifère du Néocomien

Les terrains du Crétacé inférieur forment un ensemble complexe d'aquifères multicouches répartis dans plusieurs niveaux sableux. Les niveaux aquifères sont plus ou moins individualisés selon les secteurs du bassin Parisien. Les aquifères du Crétacé inférieur constituent une réserve profonde de très grande qualité. Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Seine- Normandie (1996), les identifie comme nappes d'importance stratégique sur le plan de l'alimentation en eau potable.

Les aquifères de l'Albien et du Néocomien pourraient être en communication hydraulique, bien que séparés par les argiles aptiennes.

Le Néocomien est généralement employé pour désigner toute la partie inférieure du Crétacé non différenciée, à partir du Barrémien inférieur.

L'aquifère du Néocomien est constitué de séries argilo-sableuses plus ou moins bien individualisées montrant d'importantes variations latérales de faciès. Cette nappe est moins connue mais présente une ressource plus chaude avec une eau de qualité similaire. Le volume de sables représente 820 milliard de m³, soit pour une porosité moyenne de 28% (Cf. Rapport R39702 BRGM), un volume d'eau de 230 milliards de m³.

La formation des sables du Néocomien est aquifère, avec une perméabilité irrégulière avec des taux d'argiles plus ou moins élevés. Il s'agit d'une nappe captive, sans affleurement.

Aucun captage d'alimentation en eau potable à l'Albien-Néocomien n'est recensé dans le périmètre de la commune de Chatenay-Malabry. Les forages les plus proches se trouvent à l'est sur la commune du Plessis-Robinson à environ 3 km du site.

L'Albien est séparé des sables du Néocomien par une centaine de mètres d'argiles (complexe argilo sableux aptien). Les sables du Néocomien sont moins sollicités et donc moins connus dans le Bassin parisien.

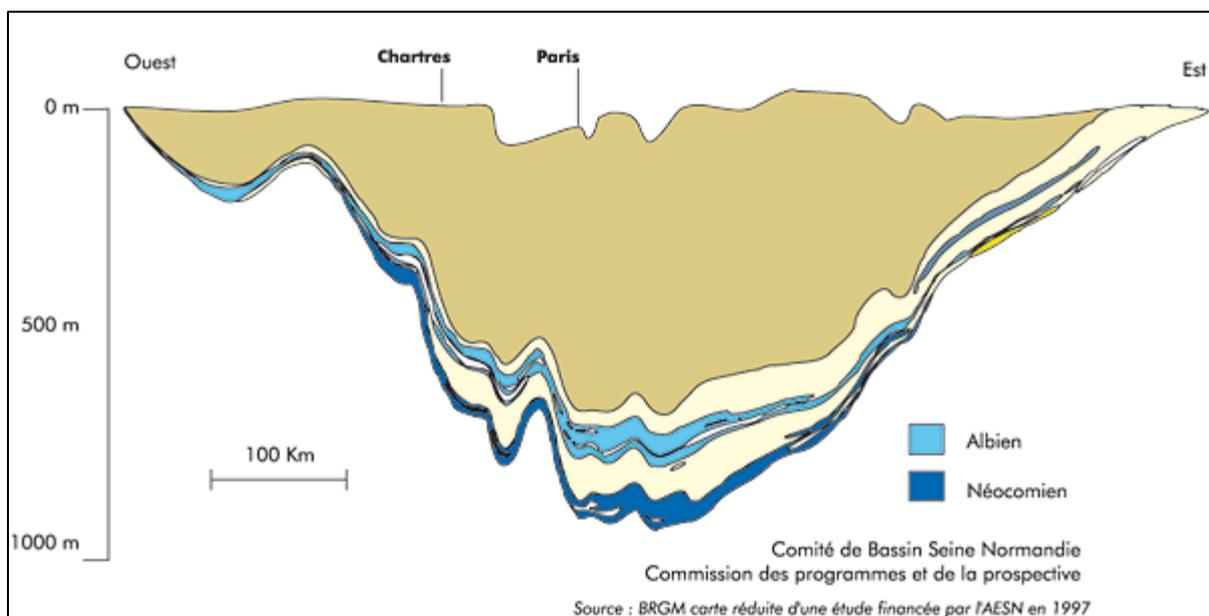


Figure 43 : Aquifère du Néocomien du Bassin de Paris

2.4.2 Caractéristiques prévisionnelles du Néocomien dans le secteur d'étude

Sur la base des données observées sur le doublet géothermique du Plessis-Robinson, le Néocomien affiche un niveau piézométrique de l'ordre de +70 m NGF \pm 10 mètres au droit du secteur d'étude.

Les gradients hydrauliques du Néocomien sont plus faibles que ceux de l'Albien. Entre les affleurements et Paris, le gradient est d'environ 0,4 % (BRGM, R-39702,1997). Le peu de puits captant le Néocomien complique l'interprétation du sens de l'écoulement préférentiel de la nappe ; son niveau piézométrique est relativement incertain.

L'ensemble des sables du Néocomien recense 5 à 8 horizons sableux aquifères, par une centaine de mètres d'argiles (complexe argilo sableux de l'Aptien-Barrémien).

La transmissivité des sables du Néocomien serait moins bonne qu'à l'Albien avec environ 10^{-3} m²/s avec une productivité plus faible corrélée avec une granulométrie des sables plus faible (0,1 à 0,3 mm) ; soit une transmissivité intrinsèque de l'ordre de 80 D.m pour une épaisseur utile de l'ordre de 50 mètres. Par ailleurs ces sables peuvent montrer une cimentation répartie irrégulièrement dans l'espace ce qui augmente d'autant la variabilité de la transmissivité (rapport R39702 BRGM).

Cet aquifère sableux a la particularité d'être favorable à l'exploitation de débits importants qui dépassent généralement 180 m³/h par forage, mais sont par expérience contraints et limités par la capacité pérenne du réservoir à la réinjection à hauteur de 80 à 150 m³/h.

La transmissivité d'un aquifère représente la capacité d'un aquifère à mobiliser l'eau qu'il contient. Elle se détermine lors des essais de fin de forage. Au niveau de l'exploitation, une bonne transmissivité permettra de réduire le rabattement dans le puits producteur et les pressions de réinjection au puits injecteur.

Une transmissivité élevée permettra donc de réduire les HMTs des pompes de production et d'injection, et donc les consommations électriques en comparaison d'une transmissivité faible.

Compte tenu du peu de données hydrodynamiques disponibles dans le secteur d'étude, une hypothèse basse et haute seront prises pour le calcul des performances des futurs ouvrages :

- **Productivité : comprise entre 2 et 4 m³/h/mCE ;**
- **Injectivité : comprise 1 et 4 m³/h/mCE.**

La température retenue au toit du réservoir du Néocomien est de l'ordre de $36 \pm 2^\circ\text{C}$; soit en tête de puits une température attendue de l'ordre de $35 \pm 2^\circ\text{C}$.

Pour informations, les caractéristiques du Néocomien (aquifère de repli) à l'aplomb du projet sont :

- Profondeur prévisionnelle : 810 m \pm 30 m ;
- Température prévisionnelle : $36 \pm 2^\circ\text{C}$;
- Débit exploitable maximal estimé à 150 m³/h (limité par la réinjection) ;
- Puissance thermique maximale de 4,3 MW ($Q=150$ m³/h, $\Delta T=25^\circ\text{C}$).

2.4.3 Qualité du fluide géothermal

Les eaux de l'Albien-Néocomien sont très peu minéralisées (salinité totale de l'ordre de 0,2 à 0,6 g/L) pour un pH neutre. Elles présentent par conséquent un risque faible tant du point de vue de la corrosion que du risque de formation de dépôt.

Les teneurs en fer non négligeables (entre 0,2 et 1 mg/L) impliquent le maintien du fluide dans des conditions d'anaérobiose (absence d'oxygène) pour éviter la précipitation d'hydroxydes de fer. Cette présence de fer est également propice à la colonisation des installations par des bactéries du cycle du fer. Leur prolifération éventuelle doit être surveillée pour éviter le colmatage de la porosité, en particulier au puits d'injection.

Autour de la zone d'études, les puits à l'Albien-Néocomien pour lesquels les analyses d'eau sont disponibles sont donnés ci-dessous avec la concentration en éléments majeurs de l'eau à l'aplomb du site.

Ouvrage		pH	HCO ³⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Fe (mg/L)
Issy-les-Moulineaux	ILM-1 (P)	7,8	146	30	11	10	11	8	6	0,8
	ILM-2 (I)	7,7	-	27	11	9	10	7	6	0,2
Le Plessis Robinson	LPR-1 (P)	7,7	200	35	37	39	8	13	17	0,2
	LPR-2 (I)	7,5	-	35	33	34	9	12	15	0,1
Ivry sur seine	01837D0139	-	140	27	14	16	11	9	10	-
Bagneux	01836D0038	-	-	-	25	10	9	-	12	-
Viry-Chatillon	02197X0073	7,6	-	31	8	7	9	11	7	-
Orsay	02191X0003	7,8	134	31	15	5	9	6	5	0,3
Secteur d'étude	Albien	7,7	140	29	14	9	10	8	8	0,4
	Néocomien	7,6	200	35	35	37	9	12	16	0,2

Tableau 13 : Géochimie des eaux captant l'aquifère de l'Albien- Néocomien à proximité du secteur d'étude

2.5 Caractéristiques hydrogéologiques principales du projet

Les caractéristiques principales des réservoirs prévisionnelles attendues au droit de la ZAC de Chatenay-Malabry sont reportées dans les tableaux suivants.

Caractérisation de la ressource Hypothèses prévisionnelles	Lusitanien	Néocomien
Hydrogéologie		
Profondeur au toit du réservoir	-1170 ± 30 m NGF	-730 ± 30 m NGF
Épaisseur du réservoir capté	160 ± 30 mètres	90 ± 30 mètres
Température au toit du réservoir	55 ± 5°C	36 ± 2°C
Transmissivité du réservoir	?	80 ± 50 D.m
Taille particules du réservoir	?	< 0,3 mm
Porosité du réservoir	15 ± 5 %	25 ± 5 %
Indice de productivité du réservoir	20 ± 10 m ³ /h/bar	2 à 4 m ³ /h/bar
Indice d'injectivité du réservoir	20 ± 10 m ³ /h/bar	1 à 4 m ³ /h/bar
Pression artésienne	5 ± 2 bars	Aucune
Débit artésien	40 ± 20 m ³ /h	-
Épaisseur productrice utile	40 ± 10 mètres	50 ± 20 m vertical
Géochimie du fluide géothermique		
Salinité totale	8 ± 2 g/L	0,5 ± 0,2 g/L
pH	?	7,5 ± 0,5
Teneur en fer	~ 0,3 mg/L	< 0,2 mg/L
Teneur en sulfates	~ 2500 mg/L	~ 35 mg/L
Teneur en cations majeurs	~ 130 ± 20 meq/L	~ 5 meq/L
Teneur en anions majeurs	~ 140 ± 20 meq/L	~ 5 meq/L
Teneur en gaz dissous (GLR)	?	?
Point de bulle	5 ± 2 bars	?
Puissance thermique		
Débit exploitable	100 - 150 m ³ /h	80 - 150 m ³ /h
Température de réinjection moyenne (avec PAC)	25 °C	16 °C
Puissance thermique moyenne (Q=125 m ³ /h , ΔT=30°C)	4,3 MW	2,5 MW (Q=110 m ³ /h , ΔT=20°C)
Débit maximal exploitable	150 m ³ /h	150 m ³ /h
Température minimale de réinjection (avec PAC)	20 °C	10 °C
Puissance thermique maximale: 6 MW (Q=150 m ³ /h , ΔT=35°C)*	6,1 MW	4,5 MW (Q=150 m ³ /h , ΔT=26°C)

*Valeur du futur permis d'exploitation

Tableau 14 : Caractéristiques principales du réservoir du Lusitanien et Néocomien au droit du secteur d'étude

2.6 Modélisation numérique du réservoir

La modélisation numérique du réservoir ciblé par ce projet (Lusitanien) a été effectuée avec le logiciel COMSOL Multiphysics et le module Earth Science développés par la société COMSOL. Le code de calcul résout par la méthode des éléments finis, en géométrie bi- ou tridimensionnelle, les équations décrivant l'écoulement et le transport de masse ou d'énergie en aquifère.

La modélisation du réservoir constitue un outil d'aide à la décision portant sur la conception des futurs dispositifs géothermiques et plus particulièrement sur le positionnement des points d'impact au réservoir des puits du nouveau doublet.

Compte tenu des contraintes réglementaires existantes dans le secteur d'étude, l'emplacement optimal du nouveau doublet tiendra compte :

- d'une limitation des risques liés à l'inclinaison des ouvrages ;
- d'une limitation optimale de la décroissance thermique afin de retarder au maximum la percée thermique dans les 30 années suivant la mise en service du dispositif géothermique ;
- de l'historique de la nappe du Néocomien ;
- d'une limitation des impacts hydrauliques et thermiques du nouveau doublet sur les exploitations voisines, notamment du Plessis-Robinson en orientant le nouveau dispositif de manière optimale.

2.6.1 Modélisation du nouveau doublet au Lusitanien

L'objectif est de quantifier l'impact hydraulique et thermique d'une exploitation de la nappe du Lusitanien et de prévoir l'évolution des températures de production prévisionnelles sur le long terme. Deux hypothèses de fonctionnement sont simulées pour la nappe du Lusitanien :

- 1^{ère} hypothèse : un scénario réaliste intégrant les prévisions d'exploitation d'Eiffage pour une température de réinjection moyenne de 25°C et un débit d'exploitation de 125 m³/h.
- 2^{ème} hypothèse : un scénario optimiste avec un débit constant d'exploitation maximal de 150 m³/h pour une température de réinjection minimale de 20°.

2.6.1.1 Choix du modèle conceptuel

Le modèle de réservoir est une représentation géométrique et numérique simplifiée et imparfaite de la réalité qui ne peut tenir compte de l'hétérogénéité spatiale du réservoir (nombre de niveaux producteurs, épaisseur productrice, porosité, perméabilité du réservoir...). En outre, les circulations entre les différentes formations géologiques et niveaux producteurs sont inconnues. De plus les incertitudes relatives au régime d'exploitation de chaque dispositif (débit d'exploitation, température de réinjection) conduit à prendre des hypothèses a priori réalistes compte tenu de la durée des simulations (plusieurs décennies).

Le modèle choisi est un modèle conceptuel (Cf. Figure ci-dessous) qui regroupe l'ensemble des horizons producteurs en un seul niveau producteur d'épaisseur équivalente. Ce modèle, appelé communément modèle « monocouche », est pessimiste car il néglige la diffusion thermique par les niveaux imperméables argileux intermédiaires et considère la mise en communication de tous les

horizons producteurs. Les horizons du Séquanien et du Rauracien sont donc assimilés à une seule unité réservoir. Par conséquent, la modélisation numérique du réservoir induit la mise en relation de tous les niveaux producteurs par lesquels transite la totalité du débit.

Le modèle est considéré homogène (porosité, transmissivité, température initiale) et d'épaisseur constante pour chaque couche. Le dispositif est considéré comme isolé (aucun ouvrage existant au Lusitanien).

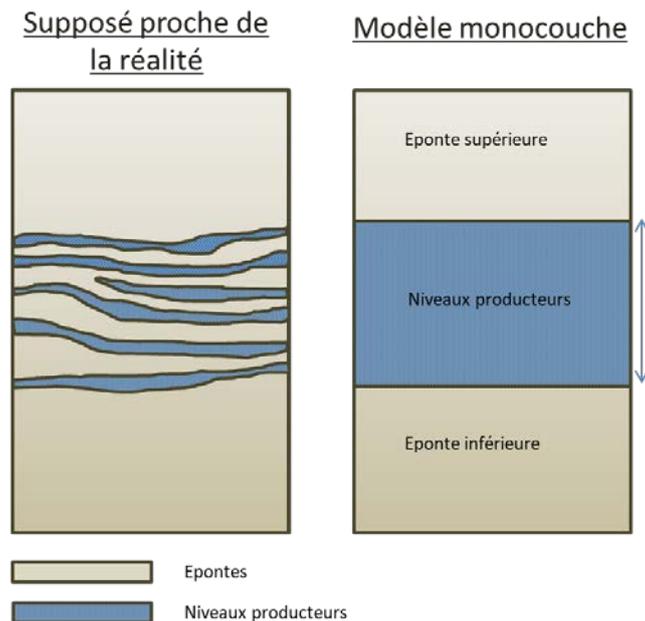


Figure 44 : Représentation schématique du modèle conceptuel

2.6.1.2 Géométrie et maillage du modèle

Le domaine modélisé est représenté sur la figure ci-dessous. Il correspond à un carré de 10 km de côté qui permet d'appliquer les calculs hydrodynamiques et thermiques.

La figure suivante représente la discrétisation (maillage) du domaine 3D modélisé qui comporte plus de 290 000 éléments tétraédriques. Les tailles extensibles des mailles s'adaptent à la progression des perturbations hydrauliques et thermiques.

Le raffinement du maillage au niveau des interfaces épontes/aquifère permet de représenter au mieux la recharge thermique par phénomène de conduction verticale de l'éponte vers le réservoir.

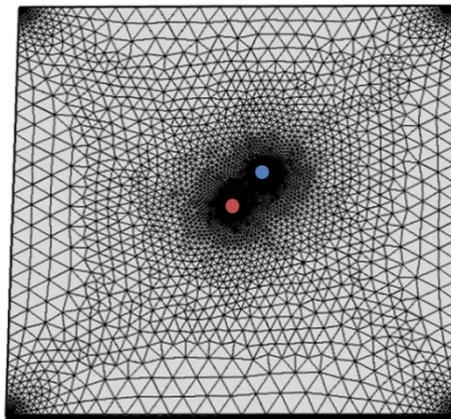


Figure 45 : Discretisation (maillage) du domaine 3D utilisé pour les calculs hydrodynamiques et thermiques

2.6.1.3 Equations mathématiques utilisées dans le modèle numérique

Les équations mathématiques utilisées dans le modèle numérique prennent en compte l'écoulement du fluide géothermique dans le milieu poreux et le transport de chaleur. L'hydrodynamisme est résolu par les équations de Darcy au niveau du réservoir. L'écoulement n'est pas résolu dans les épontes assimilées à des solides imperméables. Celles-ci sont néanmoins conductrices de chaleur. Le transport de chaleur intègre :

- La convection dans l'aquifère (entraînement de la chaleur par l'eau en mouvement) qui est le mécanisme dominant ;
- La conduction dans l'aquifère et dans les épontes (flux de chaleur résultant du gradient de température) qui retarde la progression du front froid. Le transport de chaleur dans les épontes ne prend en compte que le mécanisme de conduction pure ;
- Le phénomène de dispersion thermique cinématique est pris en compte par un flux de chaleur résultant de l'hétérogénéité locale du champ de vitesse. Une dispersivité anisotrope de 20 m selon l'axe horizontal (x) et de 1 m selon l'axe transversal (y) a été retenue dans le cadre de cette étude ;
- Les écoulements gravitaires sont négligés ;
- Le gradient géothermique est négligé (la température initiale des différentes couches est constante selon toute verticale).
- Les vitesses d'écoulement du fluide sont utilisées pour coupler les transferts hydrauliques et les transferts thermiques. En effet, les températures relevées aux puits de production sont dépendantes de la vitesse d'écoulement entre les puits.

2.6.1.4 Conditions initiales et conditions aux limites du modèle

Du point de vue hydraulique, la condition initiale fixée correspond à une pression nulle sur l'ensemble du domaine. Sur les limites du maillage, une condition de potentiel imposé (pression nulle) permet de simuler un domaine d'extension infini.

D'un point de vue thermique, la condition initiale du modèle correspond à une température fixe de 55°C et imposée constante au niveau des limites extérieures du modèle.

2.6.1.5 Paramètres du modèle numérique

Le modèle hydrogéologique utilisé est basé sur les données du réservoir disponibles au niveau des doublets géothermiques du secteur d'étude. Le modèle numérique intègre les paramètres suivants :

La viscosité et la densité du fluide géothermal correspondent à celle d'une eau à la température moyenne attendue sur l'ensemble du domaine (soit une moyenne entre 55°C et 20°C).

Paramètres du Modèle numérique	
Porosité moyenne	15 %
Densité de la roche	2800 kg/m ³
Epaisseur du réservoir	40 m
Coefficient d'emmagasinement	10 ⁻⁶ m ⁻¹
Perméabilité intrinsèque du réservoir	1 Darcy
Densité moyenne du fluide	1004 kg/m ³
Viscosité moyenne du fluide	0,65 cp
Salinité moyenne	8 g/L
Epaisseur des épontes sup-inf	150 m
Capacité calorifique du fluide	4,18 MJ/kg/K
Conductivité thermique du fluide	0,6 W/m/K
Capacité calorifique du réservoir	2,5 MJ/m ³ /K
Capacité calorifique des épontes	2,1 MJ/m ³ /K
Conductivité thermique du réservoir	2,5 W/m/K

Tableau 15 : Paramètres principaux du modèle hydrogéologique conceptuel

2.6.1.6 Impacts hydraulique et thermique

L'impact hydraulique est évalué par une carte des variations piézométriques induites par le fonctionnement du nouveau dispositif de Chatenay-Malabry. Aucun ouvrage n'existe au Lusitanien à ce jour, l'impact hydraulique est donné en termes de distance pour un débit maximal de 150 m³/h.

Les impacts négatifs témoignent d'un rabattement de la nappe induit par le puits producteur du dispositif géothermique. Les impacts positifs témoignent d'une hausse du niveau piézométrique de la nappe induite par le puits injecteur du doublet.

NB : Dans le cadre de la gestion du réservoir du Dogger en Ile-de-France, il est communément accepté qu'une différence de pression inférieure à ± 1 bar sur les exploitations voisines soit considérée comme un impact négligeable.

A débit maximal, l'impact hydraulique de ± 1 bar (soit une hausse ou une baisse de 10 mètres du niveau de la nappe) du nouveau dispositif est perceptible jusqu'à une distance de 700 mètres autour des points d'impact au réservoir de GCTM-3 / -4.

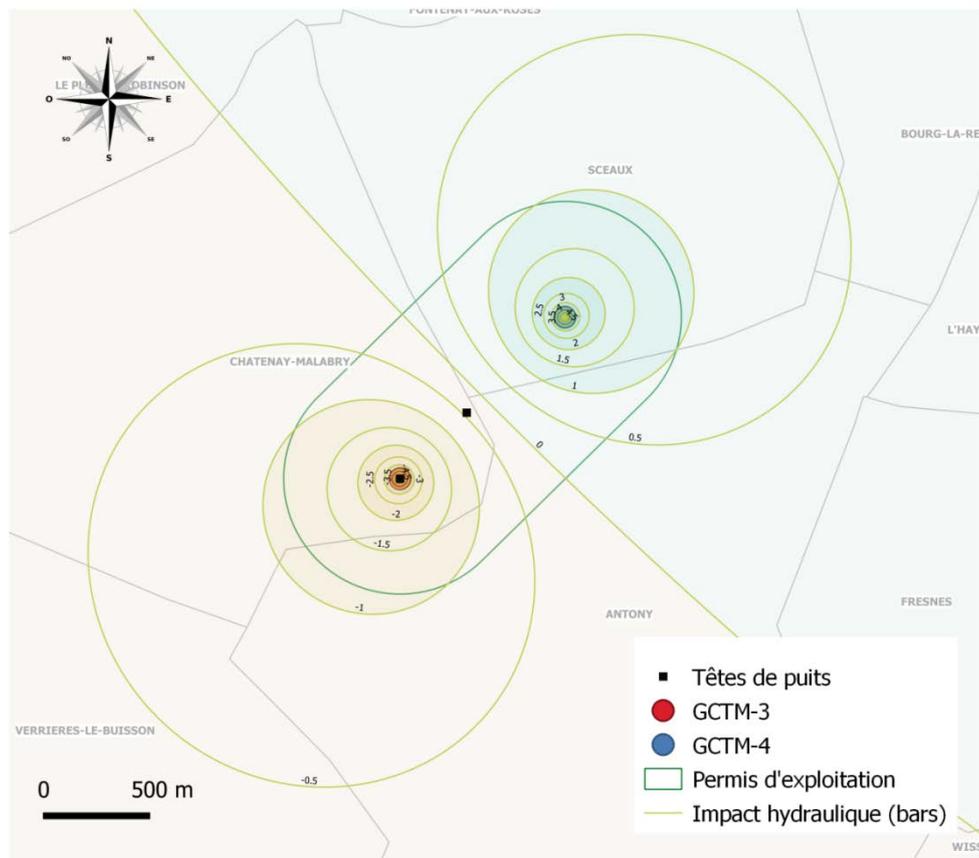


Figure 46 : Illustration de l'impact hydraulique (bar) pour un débit d'exploitation maximal

Les résultats des simulations numériques thermiques sont analysés en visualisant la propagation de la bulle froide créée autour du futur puits injecteur (Cf. Figures suivantes). Les figures ci-dessous témoignent du champ prévisionnel de température atteint après 10, 20 et 30 ans de fonctionnement du dispositif, pour des chroniques d'exploitation à débit moyen et maximal.

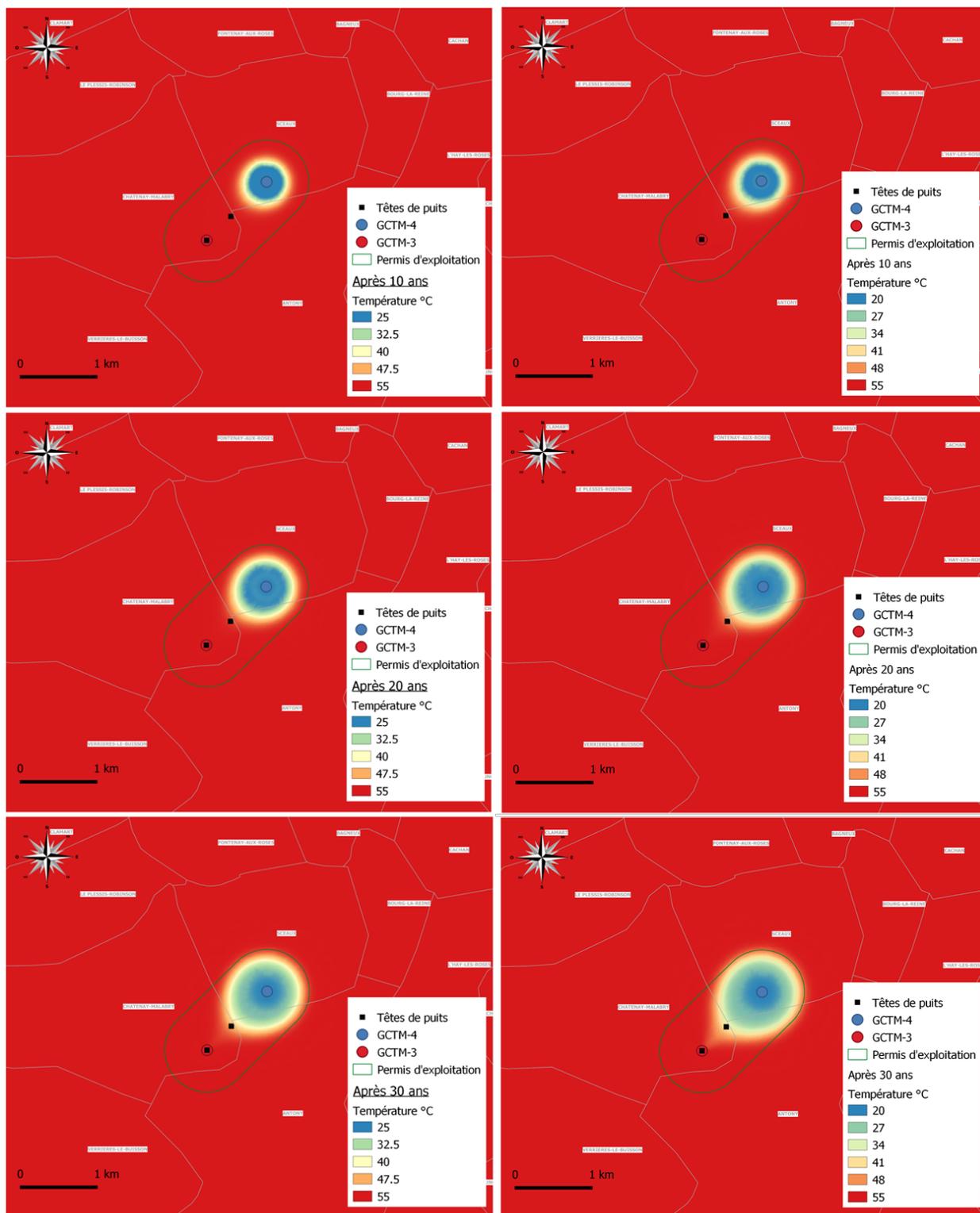


Figure 47 : Champ prévisionnel de température après 10, 20 et 30 ans d'exploitation à débits moyens (gauche) et maximaux (droite)

Le graphique suivant représente l'évolution de la température de production au futur puits producteur GCTM-3 sur une période de 30 ans, durée légale du permis d'exploitation. Après 30 ans d'exploitation, la température de production au puits atteindrait :

- une température d'environ 54,9°C, soit une baisse de 0,1 °C, pour des débits d'exploitation moyennés à 125 m³/h et une température de réinjection moyenne de 25 °C ;
- une température d'environ 54,5°C, soit une baisse d'environ 0,5 °C, pour un débit d'exploitation maximal de 150 m³/h et une température de réinjection minimale de 20°C, où l'amorce de la décroissance thermique commence après 12 ans d'exploitation.

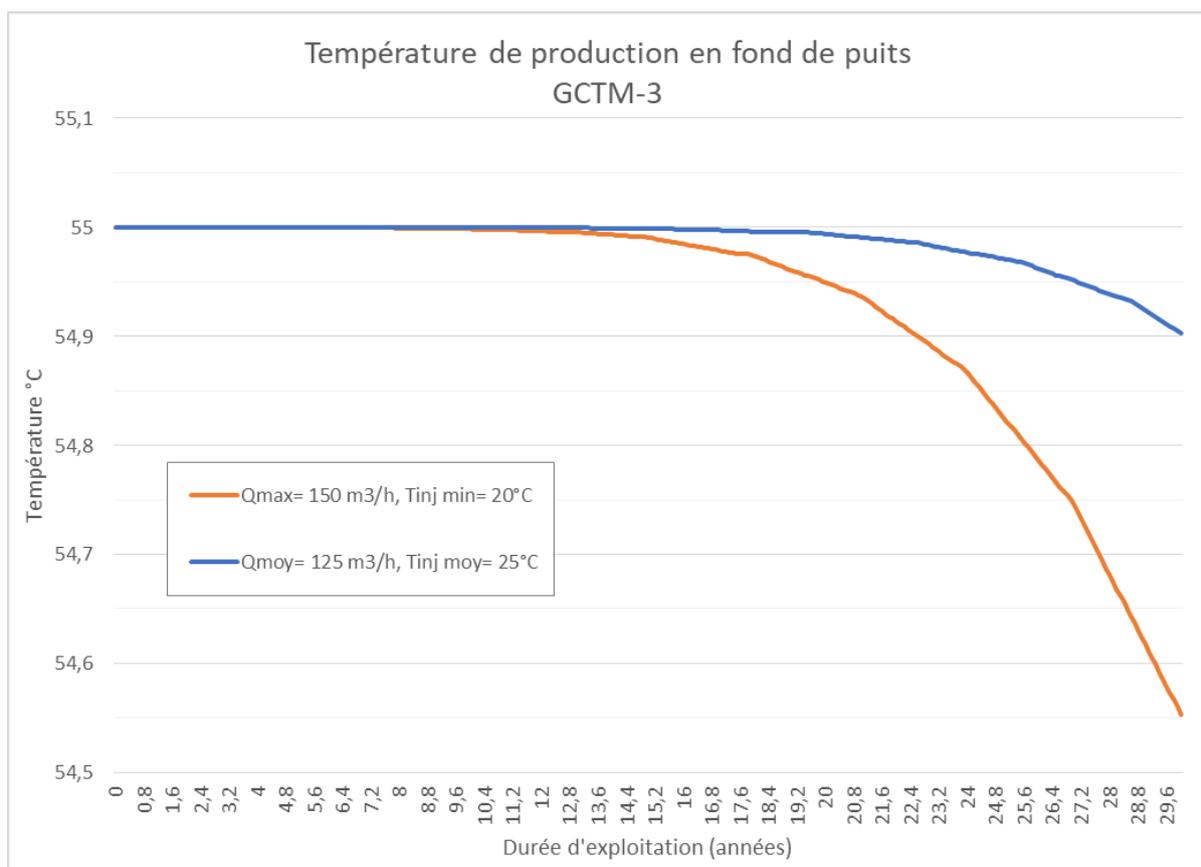


Figure 48 : Evolution des températures de production au puits GCTM-3 selon le débit d'exploitation

2.6.2 Conclusions de la modélisation numérique au Lusitanien

Le positionnement du nouveau dispositif de Chatenay-Malabry selon l'option retenue permet d'obtenir une décroissance faible au droit du puits producteur (inférieure à 0,5°C après 30 ans d'exploitation à débit maximal). La bulle froide créée autour du puits GCTM-4 est attirée par le puits producteur GCTM-3 et reste contenue à l'emprise du futur permis d'exploitation du doublet.

L'impact hydraulique du futur doublet est négligeable (inférieur à ± 1 bar) au-delà d'une distance de 700 mètres autour des points d'impact au réservoir.

Le projet exploratoire au Lusitanien, aujourd'hui isolé ne peut remettre en cause la pérennité des dispositifs voisins, ni du point de vue de la valorisation thermique ni du point de vue des rendements hydrauliques.

2.6.3 Modélisation de la solution de repli au Néocomien

Le positionnement des points d'impact au réservoir des puits a été conditionné par les contraintes techniques du forage et en particulier la limitation de l'angle de déviation des forages au Néocomien liée au déplacement horizontal entre la tête de puits et l'impact au réservoir visé dans le cas du repli pour le puits producteur (GCTM-3ST) et le puits injecteur.

Depuis leur plateforme respective, le déplacement horizontal, entre la position de la tête de puits et l'impact au réservoir atteindra 50 m pour le puits GCTM-3ST et 150 mètres au puits GCTM-4 pour un angle de déviation maximal de 20°.

L'objectif de la modélisation est de vérifier que cette configuration de repli sécurise l'exploitation géothermique à minima pendant 30 ans de fonctionnement.

2.6.3.1 Choix du modèle conceptuel

Ce modèle choisi, appelé communément modèle « monocouche », est pessimiste car il néglige la diffusion thermique par les niveaux imperméables argileux intermédiaires et considère la mise en communication de tous les horizons producteurs.

Les hypothèses suivantes sont utilisées de manière à pouvoir évaluer l'évolution thermique du Néocomien au niveau de l'exploitation :

- Le modèle est considéré homogène (porosité, transmissivité, température initiale) et d'épaisseur constante pour chaque couche ;
- Le dispositif est considéré comme isolé (distance aux autres exploitations supérieure à 3 km) ;
- L'épaisseur productive totale est équivalente à 50 mètres au Néocomien;
- Le niveau piézométrique du Néocomien est fixé à +70 mNGF sur l'ensemble du domaine modélisé ;
- les écoulements ou communications potentielles entre aquifères ou les formations sus ou sous-jacents ont été négligés.
- Les équations mathématiques utilisées dans le modèle numérique sont identiques que pour le modèle au Lusitanien. Une dispersivité anisotrope de 20 m selon l'axe horizontal (x) et de 2,5 m selon l'axe transversal (y) a néanmoins été retenue.

Les caractéristiques géométriques du domaine modélisé sont les suivantes :

- Le domaine modélisé est représenté par un carré de 5 km de côté ;
- Les formations géologiques du Gault, de la Craie pour l'éponte supérieure sont prises en compte de manière à obtenir une épaisseur de 170 mètres au-dessus de l'Albien ;
- Les formations géologiques du Purbeckien-Portlandien pour l'éponte inférieure sont prises en compte de manière à obtenir une épaisseur de 150 mètres en dessous du Néocomien ;

- La discrétisation (maillage) du domaine 3D modélisé qui comporte plus de 156 000 éléments tétraédriques. Les tailles extensibles des mailles s'adaptent à la progression des perturbations hydrauliques et thermiques.

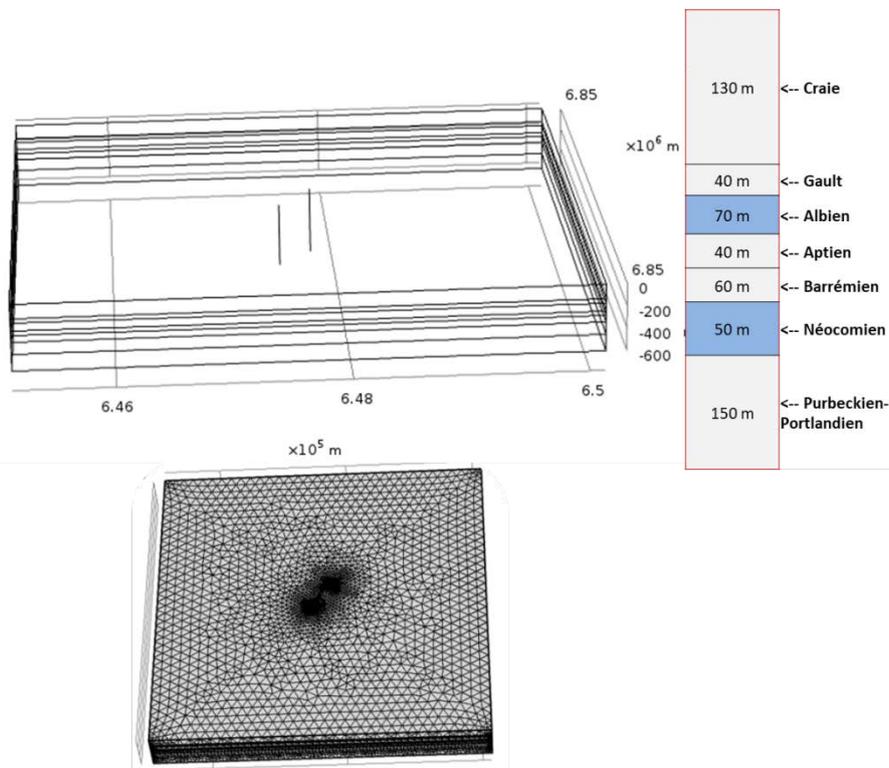


Figure 49 : Géométrie et maillage du modèle relatif à l'Albien et Néocomien

2.6.3.2 Valeurs des paramètres du modèle numérique

La transmissivité et l'épaisseur productrice ont été prises constantes dans l'espace suivant l'hypothèse d'un réservoir homogène. La viscosité et la densité du fluide géothermique correspondent à celle d'une eau à la température moyenne attendue sur l'ensemble du domaine (soit une moyenne entre 36°C et 10°C).

Transmissivité	Epaisseur productrice	Porosité	Compressibilité de la roche	Compressibilité du fluide	Masse volumique du fluide	Viscosité du fluide
$1.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	50 mètres	25%	$5,7.10^{-5} \text{ atm}^{-1}$	$4,6.10^{-5} \text{ atm}^{-1}$	1000 kg.m^{-3}	1 cp

Tableau 16 : Caractéristiques hydrodynamiques du réservoir

Les valeurs des paramètres thermiques retenues pour chacune des formations géologiques prises en compte dans le modèle sont reportées dans le tableau ci-dessous. Elles dépendent fortement de leur teneur en eau et de leur perméabilité. La conductivité thermique est considérée isotrope au sein de chacune d'entre elles.

Type de formation		Conductivité thermique (W/m/K)	Capacité calorifique (kJ/kg/K)	Masse volumique (Kg.m ⁻³)	Température initiale (°C)
Cénomanién	Craie saturée	1,7	1	2600	26
Gault	Argile saturée	1,6	0,9	1350	29,5
Albien	Sable saturé	3	0,8	2300	30
Aptien-Barrémien	Marne saturée	2,5	1,4	1800	34,5
Néocomien	Sable saturé	3	0,8	2300	36
Purbeckien-Portlandien	Calcaire saturé	2,9	0,9	2600	40
Fluide géothermal	-	0,58	3,9	997-1000	-

Tableau 17 : Paramètres thermiques du réservoir et des épontes supérieures et inférieures

Deux hypothèses de fonctionnement ont été simulées afin de quantifier l'impact thermique sur la nappe et sur les températures de production :

- 1^{ère} hypothèse : un scénario réaliste avec un débit moyen annuel de 110 m³/h et une température de réinjection constante de 16°C.
- 2^{ème} hypothèse : un scénario optimiste avec un débit constant d'exploitation maximal de 150 m³/h pour une température de réinjection minimale de 10°C.

2.6.3.3 Résultats des simulations numériques

Pour un dispositif au Néocomien, l'impact hydraulique négligeable de ± 1 bar soit une hausse de ± 10 mètres de la nappe intervient sur un rayon de 1 900 mètres environ autour des puits pour un débit d'exploitation maximal de 150 m³/h (Cf. Figure ci-après).

Compte tenu de la précision du modèle numérique, les puits les plus proches captant le Néocomien au Plessis-Robinson ne seront donc pas impactés par la mise en service d'un nouveau doublet au droit de Chatenay-Malabry quel que soit le régime d'exploitation retenu.

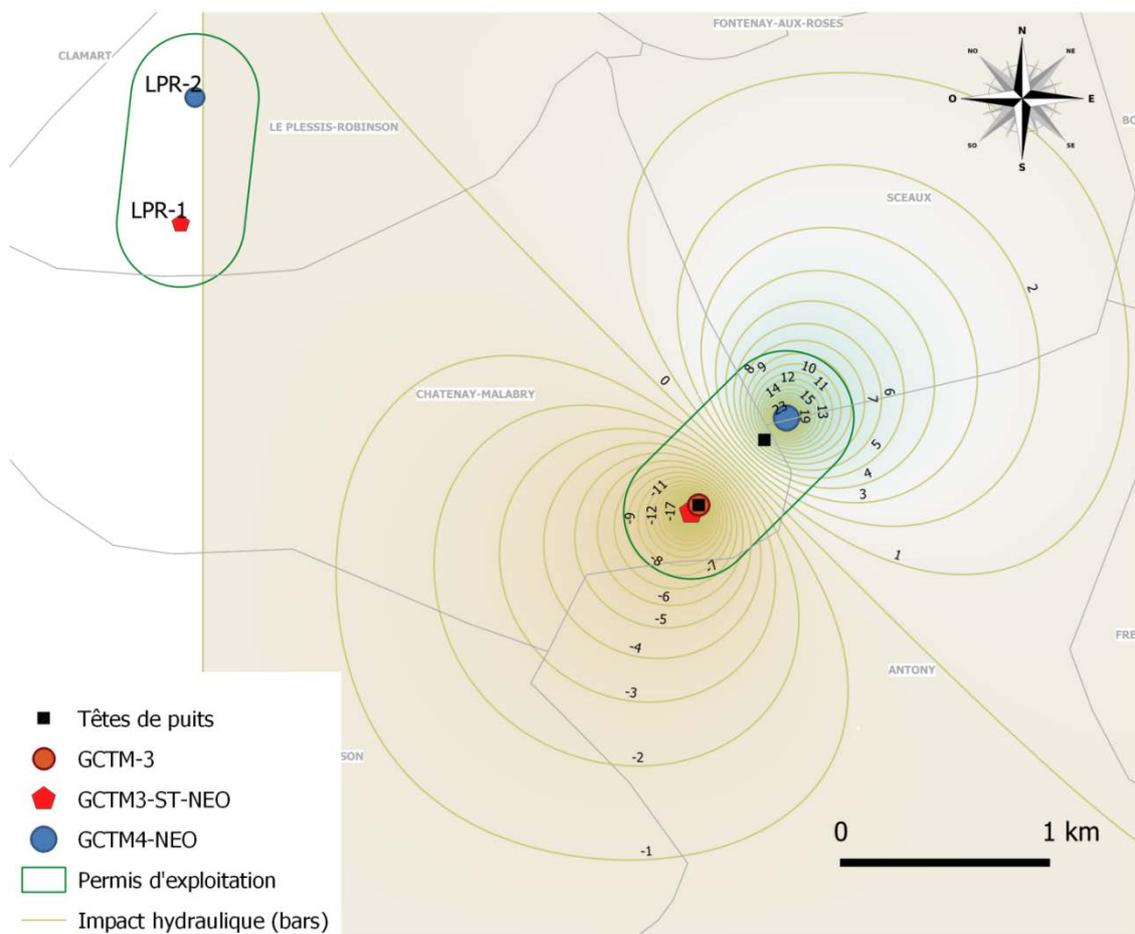


Figure 50 : Illustration de l'impact hydraulique (bar) pour un débit d'exploitation maximal 150 m³/h du dispositif au Néocomien

Le graphe ci-dessous représente l'évolution de la température de production du doublet au Néocomien selon le débit moyen annuel. Les résultats des simulations montrent qu'après 30 ans d'exploitation :

- Pour un débit moyen de 110 m³/h , une décroissance thermique est amorcée après 5 ans d'exploitation ; soit une baisse d'environ 4,3°C après 30 ans d'exploitation ;
- Dans le cas d'un débit d'exploitation maximal de 150 m³/h, la décroissance thermique est importante et atteindrait -7,8°C après 30 ans d'exploitation.

Aucun impact thermique direct n'est à envisager sur les puits existants du Plessis-Robinson ; la « bulle froide » étant entièrement attirée par le puits producteur du dispositif de Chatenay.

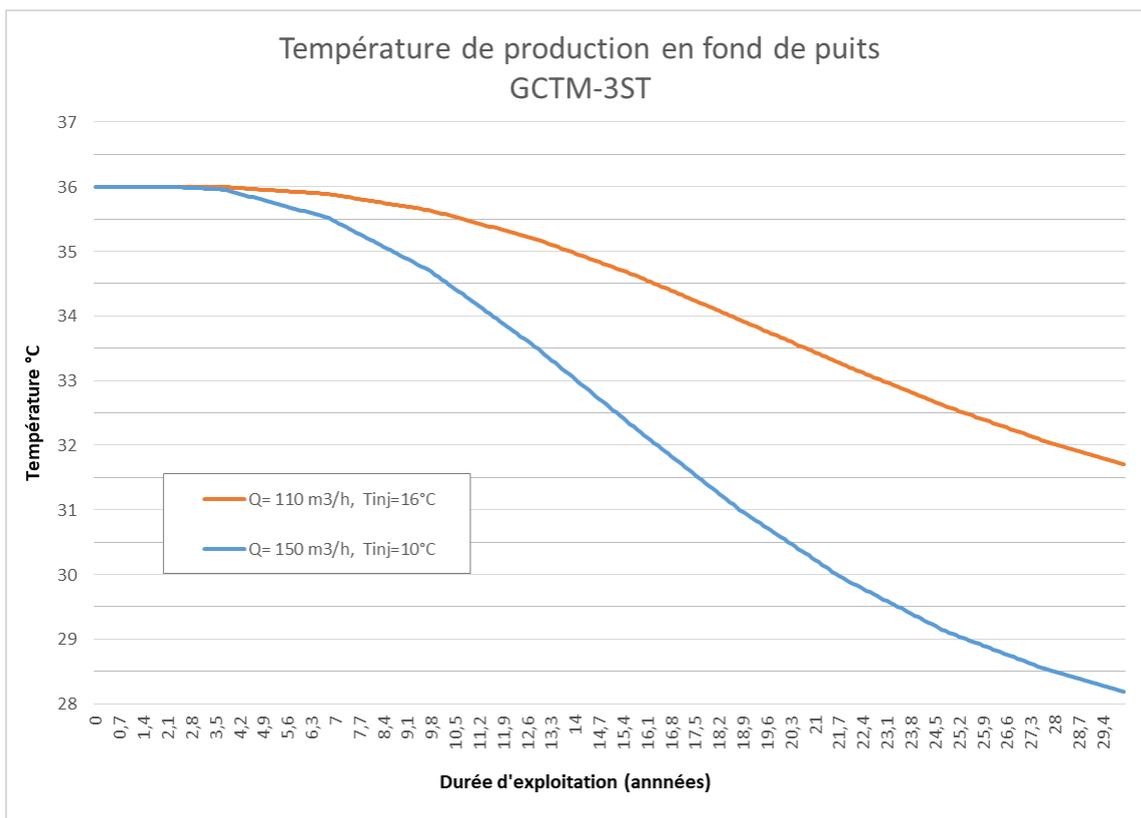


Figure 51 : Evolution des températures de production en fond de puits producteur – Néocomien

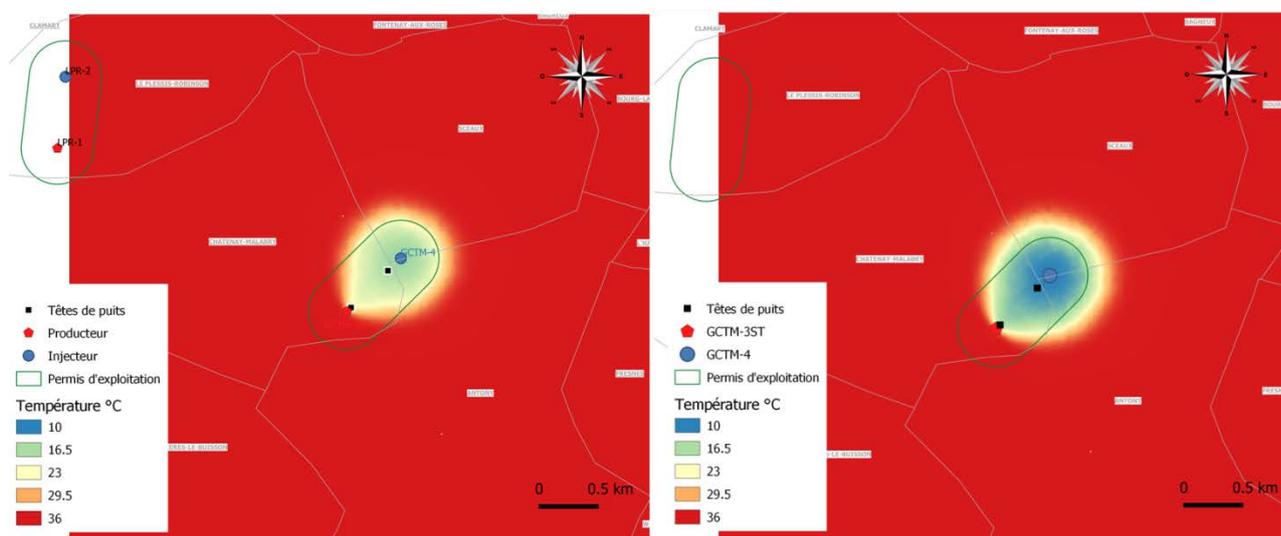


Figure 52: Champ prévisionnel de températures après 30 ans d'exploitation pour un débit d'exploitation moyen de 110 m³/h (gauche) et maximal de 150 m³/h (droite)

2.6.4 Conclusions de la modélisation numérique au Néocomien

L'impact hydraulique du futur doublet au Néocomien est faible et négligeable (inférieur à ± 1 bar) pour toutes les exploitations existantes du secteur quel que soit le régime d'exploitation retenu.

Pour la réalisation d'un doublet au Néocomien, l'écartement d'environ 645 mètres (cas du repli et puits injecteur dévié) entre les puits du doublet ne permettra pas de garantir la pérennité du dispositif pour une durée de 30 ans dans le cas d'une exploitation à débit maximal ($Q=150$ m³/h, $\Delta T=26^{\circ}\text{C}$).

Les débits d'exploitation devront être limités afin de ralentir la décroissance thermique ou les températures de réinjection devront être abaissées afin de garantir une puissance thermique équivalente sur le long terme.

Cependant, les résultats obtenus sont de nature pessimiste de par les hypothèses de modélisation choisies :

- Le modèle « monocouche » est de nature pessimiste vis-à-vis des échanges thermiques entre les épontes et le réservoir. En effet, les sables du Néocomien sont souvent séparés par des formations argileuses imperméables de faible épaisseur.
- Ces modélisation négligent la réinjection (même faible) d'eau plus chaude lors de la période estivale qui pourrait limiter les vitesses de propagation de la « bulle froide » au sein du réservoir.

Les résultats des simulations numériques doivent être relativisés étant donné les hypothèses du modèle numérique et le contexte de l'étude correspondant à une situation ponctuelle et particulière ne pouvant prendre en compte l'évolution possible de l'ensemble des dispositifs du secteur considéré.

2.7 Permis envisagés pour le projet au Lusitanien

Aucun ouvrage existant n'exploite l'aquifère du Lusitanien dans le secteur d'étude ni sur l'ensemble de la région Ile-de-France.

2.7.1 Coordonnées des puits

Les coordonnées prévisionnelles des points d'impact au réservoir du puits producteur (GCTM-3) et injecteur (GCTM-4), au toit du réservoir soit 1250 m/sol, sont indiquées dans le tableau ci-dessous (en Lambert 93).

En Lambert 93	GCTM-3 (producteur)		GCTM-4 (injecteur)	
	X (m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
Impact au toit du réservoir	647 517	6 851 738	648 290	6 852 450

Tableau 18 : Coordonnées du puits du doublet de Chatenay-Malabry

Les coordonnées des têtes de puits en surface seront comprises dans un cercle de 10 mètres de rayon centré sur :

Puits producteur GCTM-3 :

$$X = 647\,517 \pm 10 \text{ m}$$

$$Y = 6\,851\,738 \pm 10 \text{ m}$$

Puits injecteur GCTM-4 :

$$X = 647\,825 \pm 10 \text{ m}$$

$$Y = 6\,852\,001 \pm 10 \text{ m}$$

Le déplacement optimal au toit du réservoir est d'environ 650 mètres pour le puits injecteur. Le puits producteur sera vertical. L'écartement des sabots des puits du doublet au toit du réservoir est d'environ 1 052 mètres.

2.7.2 Définition du périmètre et volume d'exploitation

Le périmètre d'exploitation sollicité 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'ouvrage.

La projection horizontale de l'enveloppe du volume d'exploitation a la forme d'un « stade » ou d'une « gélule » (Cf. Figure 53). P et I sont les impacts au niveau au toit du Séquanien respectivement des puits producteur et injecteur. Les points d'impact sont définis par les coordonnées barycentriques de la production moyenne.

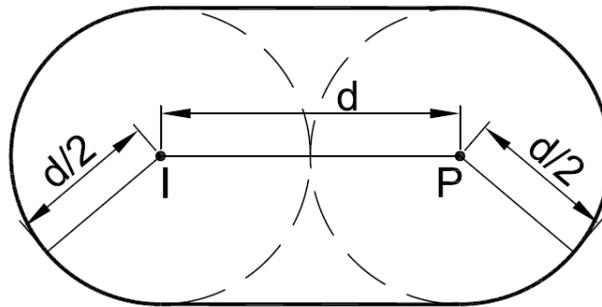


Figure 53 : Projection horizontale du volume d'exploitation

L'épaisseur d'aquifère sollicitée est définie par deux côtes en mètres par rapport au sol :

- La cote du sabot du tubage au toit du réservoir ; soit à la cote prévisionnelle de 1250 m de profondeur verticale (- 1170 m NGF).
- La cote de fond du forage; soit à la cote prévisionnelle de 1340 m de profondeur verticale (- 1260 m NGF).

L'épaisseur d'aquifère sollicité prévisionnelle est estimé à 90 mètres. 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 côtes 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 d'environ 1 095 m et une largeur d'environ 547 m.

La superficie du permis d'exploitation prévisionnel est estimée à environ 2,2 km² pour un volume d'exploitation prévisionnelle d'environ 0,19 km³ (soit 194.10⁶ m³).

A l'intérieur du périmètre de recherche, l'emprise du futur permis d'exploitation au Lusitanien (et en cas de repli au Néocomien) est représentée par une zone en forme de « gélule » d'orientation nord-est /sud-ouest (Cf. Figure 54).

2.7.3 Caractéristiques d'exploitation prévisionnelles

Les caractéristiques d'exploitation prévisionnelles du nouveau doublet au Lusitanien sont résumées dans les tableaux suivants :

Température au sabot GCTM-3	Débit moyen (m ³ /h)	Température d'injection moyenne (°C)	Débit maximal (m ³ /h)	Température d'injection minimale (°C)	Puissance thermique maximale
55 ± 5°C	125	25	150	20	6,1 ± 0,8 MW

Tableau 19 : Caractéristiques prévisionnelles pour l'opération de géothermie au Lusitanien

2.7.4 Définition du périmètre du permis de recherche sollicité

Les dimensions du périmètre du permis de recherche permettent d'anticiper, dans une certaine limite et en cas de besoin, un éventuel changement du point d'implantation des têtes de puits et/ou des points d'impact au réservoir (incident technique survenant lors de la réalisation des forages par exemple, avec obligation de forer un nouveau puits).

Le périmètre sur lequel est demandé le titre de recherche est assimilable à un quadrilatère dont les coordonnées des angles sont données dans le tableau ci-dessous (système de coordonnées « RGF93 » dans la zone « Lambert 93 »).

Coordonnées des angles du périmètre	Coordonnées Lambert 93	
	X(m)	Y(m)
A (Nord)	648 268	6 853 629
B (Nord-Est)	649 509	6 852 479
C (Sud)	647 561	6 850 489
D (Sud-Ouest)	646 290	6 851 666

Tableau 20 : Coordonnées des angles du permis de recherche sollicité pour l'opération de géothermie de Chatenay-Malabry

La superficie du permis de recherche est d'environ 4,8 km² pour un périmètre de 9 km environ. Le périmètre du permis de recherche sollicité porte sur 3 communes des Hauts-de-Seine (92) :

- **Chatenay-Malabry**
- **Sceaux**
- **Antony**

La figure suivante permet de localiser :

- Le périmètre du permis de recherche d'un gîte géothermique sollicité pour l'opération de géothermie de Chatenay ;
- Le périmètre prévisionnel des futurs permis d'exploitation du secteur ;
- Les points d'impacts au réservoir des forages géothermiques du secteur considéré ;
- Les limites des communes impactées par le périmètre du permis de recherche.

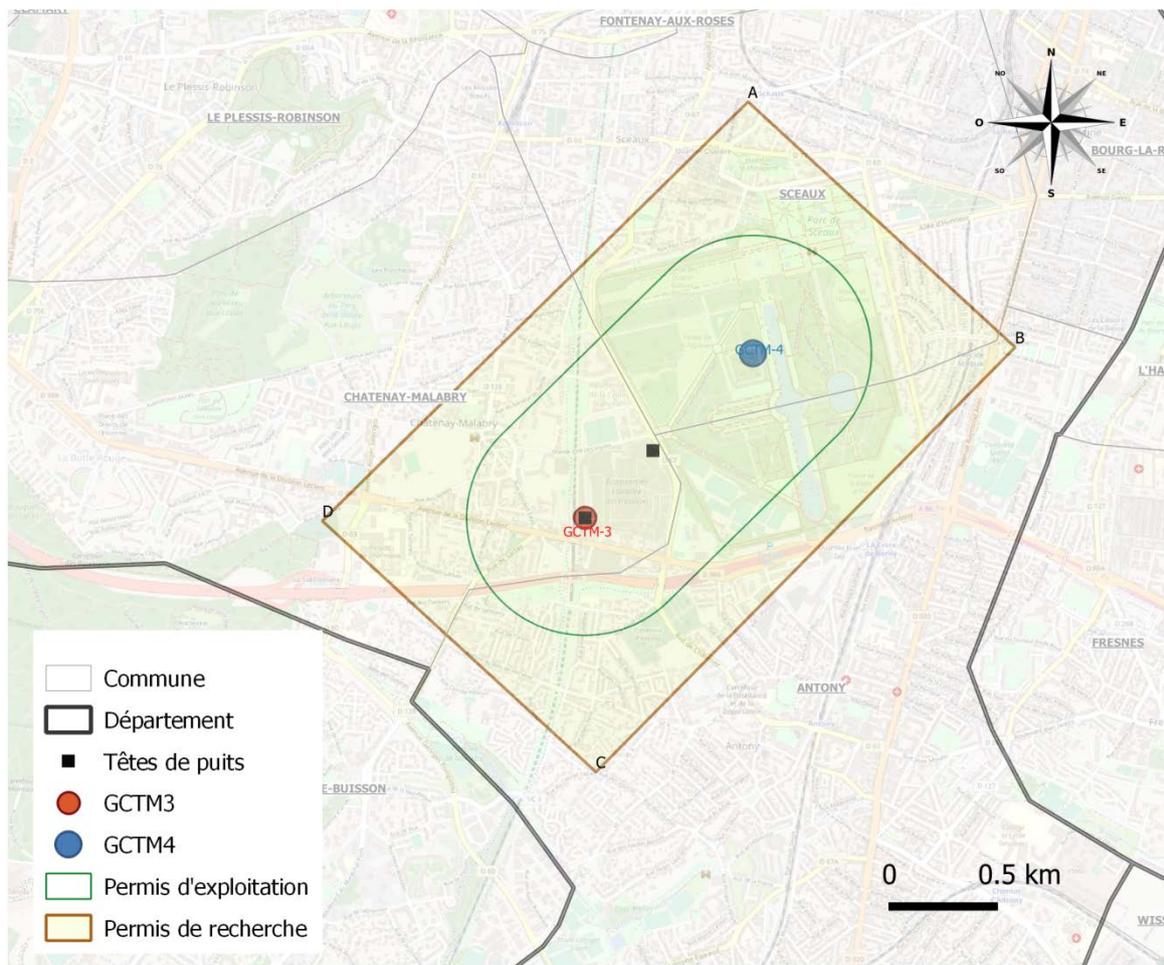


Figure 54 : Emprise du périmètre du permis d'exploitation et de recherche sollicité

2.8 Permis envisagés pour la solution de repli au Néocomien

2.8.1 Coordonnées des puits

Les coordonnées prévisionnelles des points d'impact au réservoir du puits producteur (GCTM-3ST) et injecteur (GCTM-4), au toit du réservoir soit 810 m/sol, sont indiquées dans le tableau ci-dessous (en Lambert 93).

En Lambert 93	GCTM-3ST (producteur)		GCTM-4 (injecteur)	
	X (m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
Impact au toit du réservoir	647 483	6 851 701	647 932	6 852 101

Tableau 21 : Coordonnées du puits du doublet au Néocomien de Chatenay-Malabry

Les coordonnées des têtes de puits en surface seront identiques à la celles de la solution de référence au Lusitanien et seront comprises dans un cercle de 10 mètres de rayon centré sur :

Puits producteur GCTM-3ST :

$$X = 647\,517 \pm 10 \text{ m}$$

$$Y = 6\,851\,738 \pm 10 \text{ m}$$

Puits injecteur GCTM-4 :

$$X = 647\,825 \pm 10 \text{ m}$$

$$Y = 6\,852\,001 \pm 10 \text{ m}$$

Le déplacement optimal au toit du réservoir est d'environ 50 mètres pour le puits producteur et 150 mètres pour le puits injecteur. L'écartement des sabots des puits du doublet au toit du réservoir du Néocomien est d'environ 645 mètres.

2.8.2 Définition du périmètre et volume d'exploitation

Le volume d'exploitation est compris entre les plans horizontaux correspondant à ces deux côtes 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 d'environ 645 m et une largeur d'environ 323 m.

L'épaisseur d'aquifère sollicitée est définie par deux côtes en mètres par rapport au sol :

- La cote du sabot du tubage au toit du réservoir ; soit à la cote prévisionnelle de 810 m de profondeur verticale (- 730 m NGF).
- La cote de fond du forage; soit à la cote prévisionnelle de 900 m de profondeur verticale (- 820 m NGF).

L'épaisseur d'aquifère sollicité prévisionnelle est estimé à 90 mètres. L'épaisseur finale sera définie dans les Dossiers des Ouvrages Exécutés suite aux travaux de forage.

La superficie du permis d'exploitation prévisionnel est estimée à environ 0,75 km² pour un volume d'exploitation prévisionnelle d'environ 0,07 km³ (soit 67.10⁶ m³).

A l'intérieur du périmètre de recherche défini pour la solution de référence au Lusitanien, l'emprise de l'éventuel permis d'exploitation au Néocomien est représentée par une zone en forme de « gélule » d'orientation nord-est /sud-ouest (Cf. Figure 55).

2.8.3 Caractéristiques d'exploitation prévisionnelles

Les caractéristiques d'exploitation prévisionnelles du doublet au Néocomien sont résumées dans les tableaux suivants :

Température au sabot GCTM-3	Débit moyen (m ³ /h)	Température d'injection moyenne (°C)	Débit maximal (m ³ /h)	Température d'injection minimale (°C)	Puissance thermique maximale
36 ± 2°C	110	16	150	10	4,5 ± 0,3 MW

Tableau 22 : Caractéristiques prévisionnelles pour l'opération de géothermie au Lusitanien

2.8.4 Définition du périmètre du permis de recherche sollicité

Le périmètre sur lequel est demandé le titre de recherche est le même que la solution de référence au Lusitanien (Cf. paragraphe 2.7.4). Il n'empiètera pas sur le permis d'exploitation du Plessis-Robinson. L'emprise du permis de recherche est d'environ 4,8 km² portera également sur 3 communes des Hauts-de-Seine (92) :

- **Chatenay-Malabry**
- **Sceaux**
- **Antony**

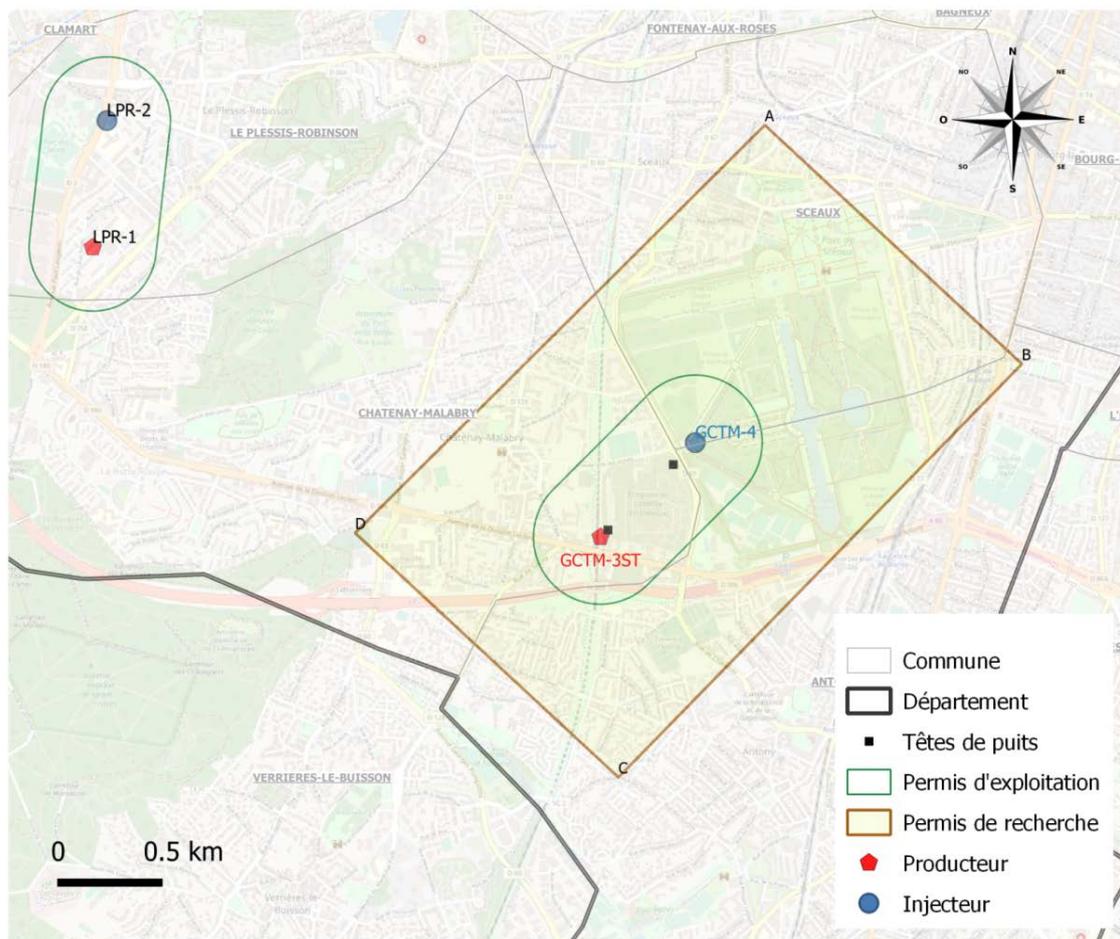


Figure 55 : Emprise du périmètre du permis d'exploitation au Néocomien

2.8.5 Périmètre de protection

Les périmètres de protection de captage sont établis autour des sites de captages d'eau destinée à la consommation humaine, en vue d'assurer la préservation de la ressource. L'objectif est donc de réduire les risques de pollutions ponctuelles et accidentelles de la ressource sur ces points précis.

Les périmètres de protection de captage sont définis dans le code de la santé publique (article L-1321-2). Ils ont été rendus obligatoires pour tous les ouvrages de prélèvement d'eau d'alimentation depuis la loi sur l'eau du 03 janvier 1992.

Cette protection mise en œuvre par les Agences Régionales de la santé (ARS) comporte trois niveaux établis à partir d'études réalisées par des hydrogéologues agréés en matière d'hygiène publique :

- Le périmètre de protection immédiate : site de captage clôturé (sauf dérogation) appartenant à une collectivité publique, dans la majorité des cas. Toutes les activités y sont interdites hormis celles relatives à l'exploitation et à l'entretien de l'ouvrage de prélèvement de l'eau et au périmètre lui-même. Son objectif est d'empêcher la détérioration des ouvrages et d'éviter le déversement de substances polluantes à proximité immédiate du captage.
- Le périmètre de protection rapprochée : secteur plus vaste (en général quelques hectares) pour lequel toute activité susceptible de provoquer une pollution y est interdite ou est soumise à prescription particulière (construction, dépôts, rejets ...). Son objectif est de prévenir la migration des polluants vers l'ouvrage de captage.
- Le périmètre de protection éloignée : facultatif, ce périmètre est créé si certaines activités sont susceptibles d'être à l'origine de pollutions importantes. Ce secteur correspond généralement à la zone d'alimentation du point de captage, voire à l'ensemble du bassin versant.

L'arrêté préfectoral d'autorisation de prélèvement et d'institution des périmètres de protection fixe les servitudes de protection opposables au tiers par déclaration d'utilité publique (DUP).

Pour ce qui concerne les captages puisant le Lusitanien ou le Néocomien, ceux-ci ne sont pas destinés à l'alimentation en eau potable et seront protégés par les caves enterrées et une dalle interdites d'accès au public.

2.9 Dispositif de mobilisation de la ressource

2.9.1 Généralités

Le dimensionnement de la boucle sous-sol est déduit des besoins en puissance des installations qui sont détaillés dans le chapitre 2.2. Au stade de l'étude de faisabilité, les besoins du réseau de chaleur de la ZAC La Vallée justifient la réalisation d'un nouveau doublet géothermique au Lusitanien.

En outre, pour des raisons environnementales liées à la salinité du fluide d'une part, et techniques en relation avec le maintien en pression du réservoir d'autre part, un dispositif en doublet s'impose pour l'exploitation de la ressource géothermale.

Les contraintes techniques de mobilisation de cette ressource sont liées à la profondeur des ouvrages qui nécessite la mise en œuvre d'une machine de forage suffisamment puissante, et aux caractéristiques physico-chimiques du fluide qui induisent des risques de corrosion-dépôts susceptibles de survenir en cours d'exploitation (Cf. paragraphe 2.4.3).

Compte tenu du caractère exploratoire du projet au Lusitanien, un logigramme en fonction du succès ou échec de chaque phase est présenté à la figure suivante.

Pour rappel, le premier puits de production sera foré verticalement en ciblant l'aquifère du Lusitanien, puis :

- En cas de succès, un second ouvrage dévié sera réalisé. Il n'est pas envisagé que le second puits soit un échec compte tenu de la nature du réservoir ;
- En cas d'échec, un repli du forage sera effectué au Néocomien puis un second puits au Néocomien sera réalisé. Il n'est pas envisagé d'échec total au Néocomien étant donné le retour d'expérience sur l'opération du Plessis-Robinson.

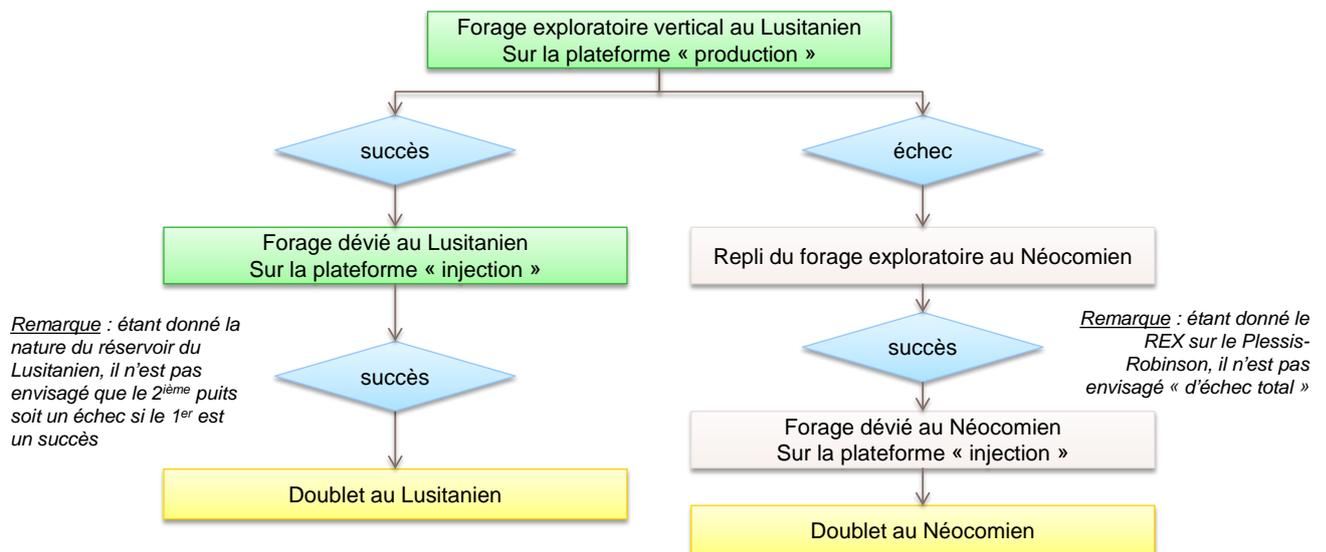


Figure 56 : Logigramme du projet géothermie au Lusitanien avec repli au Néocomien

2.9.2 Description sommaire des ouvrages au Lusitanien

La configuration proposée correspond à la réalisation de deux puits à partir de deux plateformes différentes.

Ce projet tient compte du contenu des notes techniques du guide des bonnes pratiques d'exécution des forages géothermiques profonds de l'ADEME, notamment :

- la note technique n°034 concernant le centrage des tubages ;
- les notes techniques n°041 et n°042 concernant la cimentation ;
- les notes techniques n°051 et n°052 liées à la déviation des ouvrages ;
- la note technique n°072 relative aux contrôles de cimentation soniques et ultrasoniques.

Le puits producteur GCTM-3 sera vertical de 0 à 1 410 m de profondeur.

Le puits GCTM-4 dévié comportera une phase verticale entre la surface et : 300 m de profondeur, suivie d'une phase durant laquelle l'inclinaison croît progressivement (jusqu'à environ 45°) par rapport à la verticale. La troisième phase réalisée en inclinaison stabilisée permet d'obtenir un écartement de 645 m, à la profondeur verticale de 1 250 m/sol.

Dans cette étude sont présentés les profils et architectures de puits correspondant à un doublet avec architecture en petit diamètre ($\varnothing 13''3/8 \times 7''5/8$ et 7'') avec des tubages en composite, permettant d'exploiter la ressource du Lusitanien à un débit maximal de 150 m³/h.

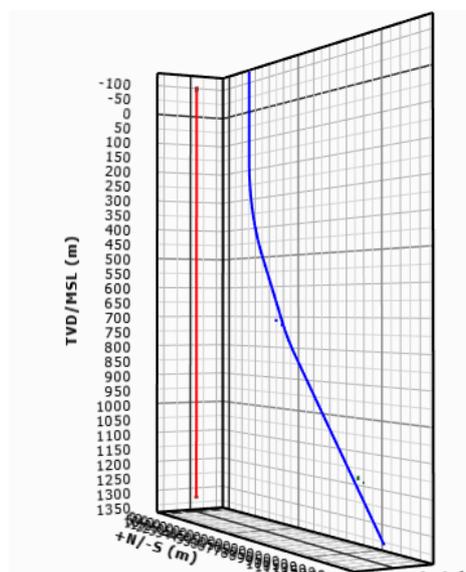


Figure 57 : Profils des puits du nouveau doublet au Lusitanien

Les figures suivantes présentent les coupes techniques prévisionnelles des puits de production (Cf. Figure 58) et de réinjection (Cf. Figure 59).

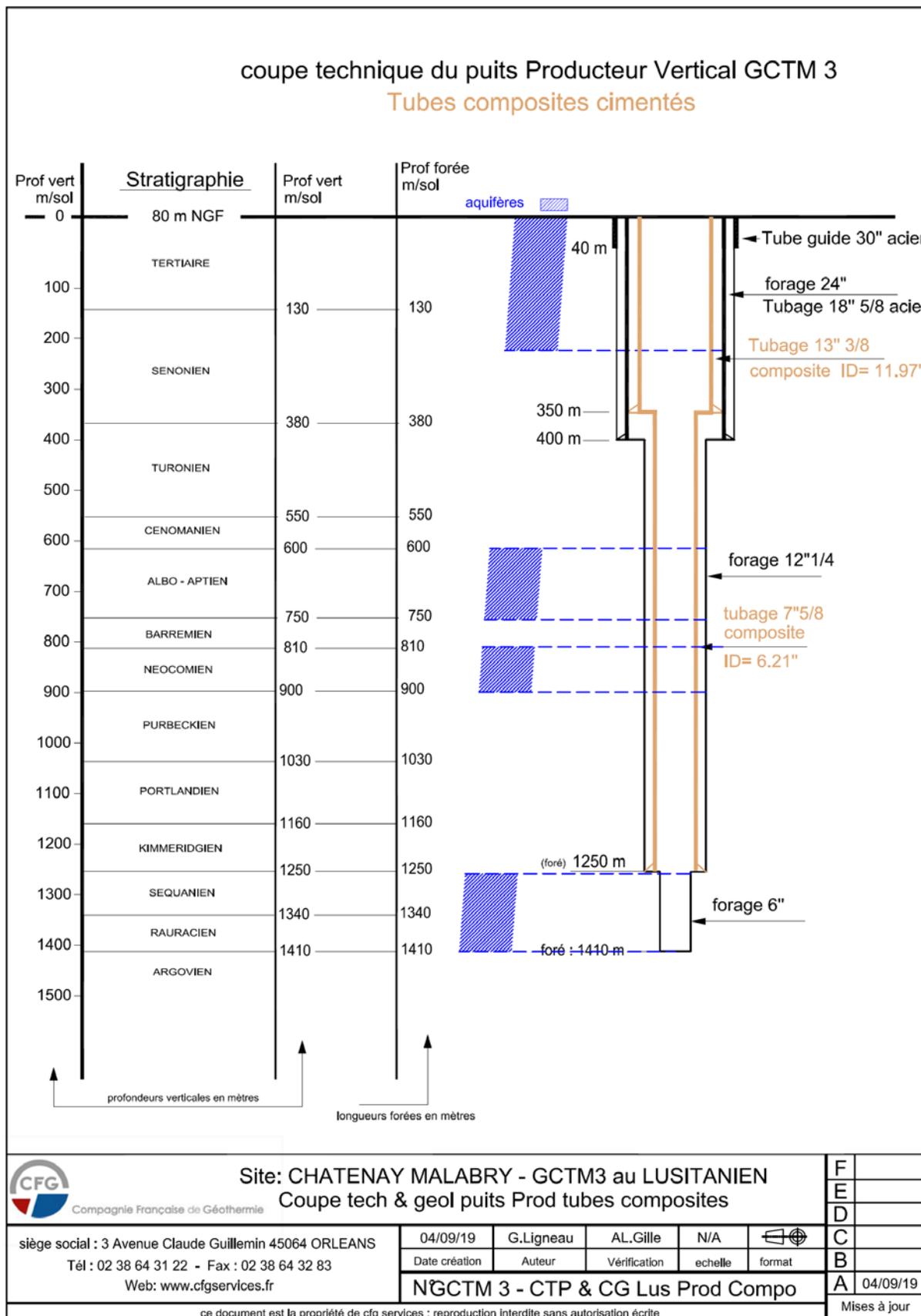


Figure 58 : Coupe technique prévisionnelle du puits de production GCTM-3

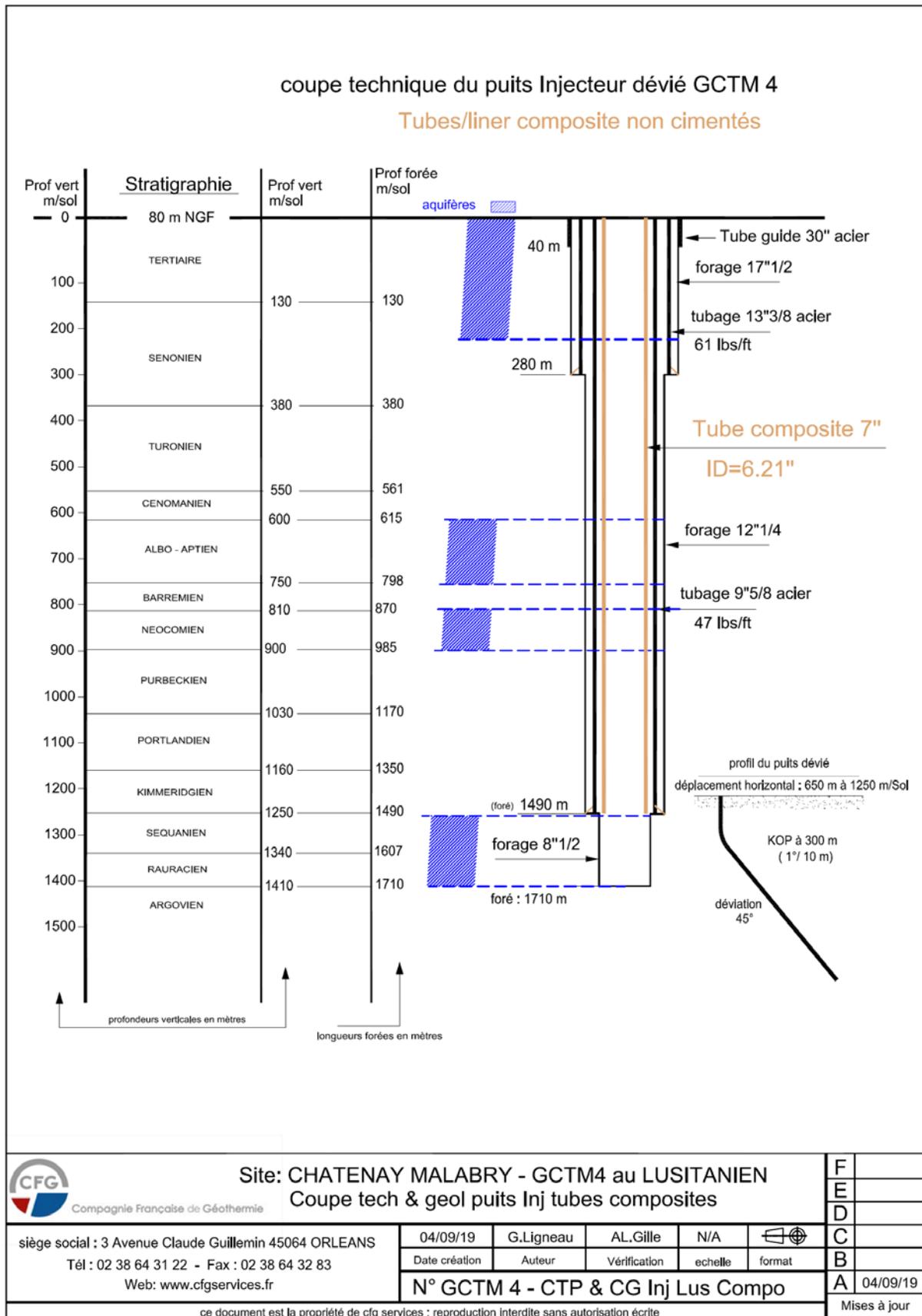


Figure 59 : Coupe technique prévisionnelle du puits d'injection GCTM-4

2.9.3 Description des ouvrages en cas de repli au Néocomien

En cas d'échec du premier puits producteur au Lusitanien, un repli à l'aquifère du Néocomien sera opéré de la manière suivante (Cf. Figures suivantes) :

- Des bouchons de ciment au droit du Lusitanien, Néocomien & Albien seront posés afin de procéder à l'abandon du drain original conformes aux règles de l'art ;
- Une fenêtre dans le tubage acier 18''^{5/8} à 300 m de profondeur sera réalisée afin de permettre la réalisation d'un side-track en diamètre de forage 17''^{1/2}, jusqu'au toit du Néocomien ;
- Descente et la cimentation du casing acier 13''^{3/8} acier sera opérée jusqu'au toit des formations du Néocomien ; la chambre de pompage ainsi créée permettra de mettre en place le groupe de pompage immergé jusqu'à 300 m de profondeur ;
- Le réservoir sera foré en diamètre de forage 12''^{1/4} puis un alésage 15'' sera réalisé afin de poser un massif filtrant et crépine dans de bonnes conditions.

Le second ouvrage correspondant au puits injecteur possédera une architecture similaire à celle du puits producteur de la manière suivante :

- 0 à 300 m vert. : un tubage 18''^{5/8} en acier permettant de protéger les aquifères superficiels de la surface jusqu'à la craie sénonienne.
- 0 à 810 m vert. : un tubage 13''^{3/8} en acier cimenté jusqu'au toit du réservoir du Néocomien.
- 810 à 900 m vert : forage du réservoir en diamètre de forage 12''^{1/4} puis un alésage afin de poser un massif filtrant et crépine dans de bonnes conditions.

Le puits injecteur sera dévié à 20° maximum, avec une amorce de la déviation à 300 m de profondeur, selon un profil en « J » afin d'obtenir un déplacement horizontal de 150 m au toit du réservoir du Néocomien.

Les deux points d'impact des puits GCTM-3ST / 4 seront alors distants d'environ 645 mètres au toit du Néocomien.

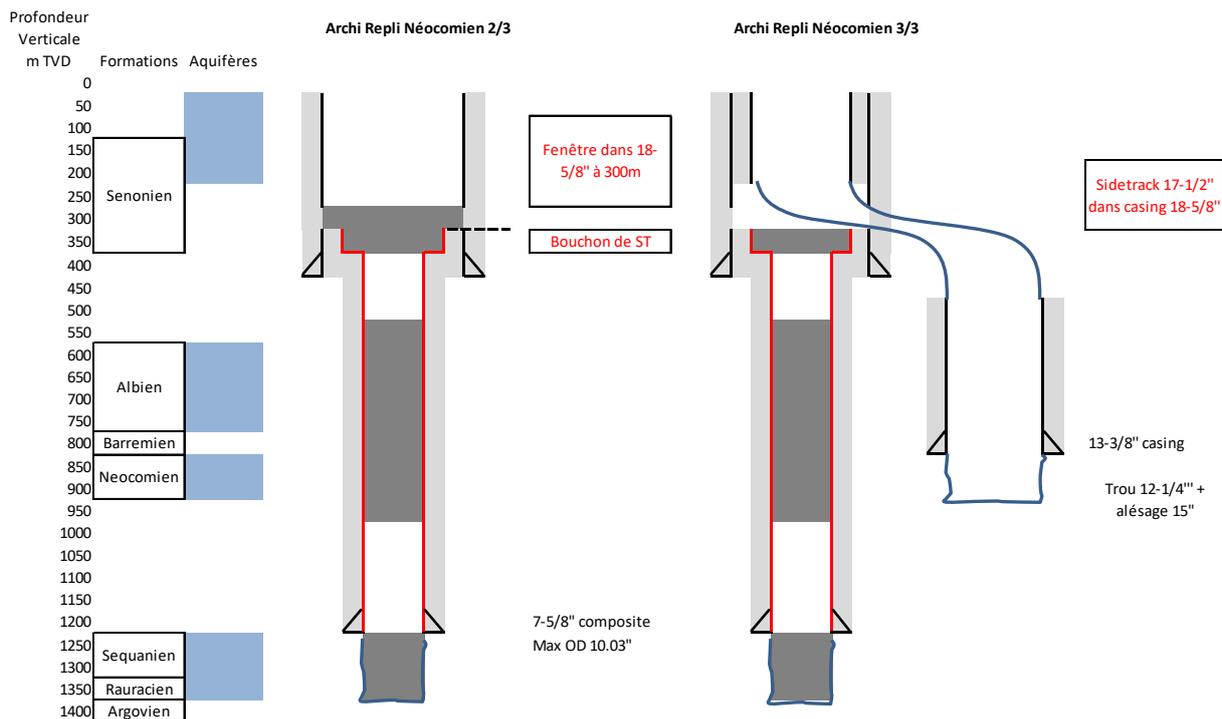


Figure 60 : Abandon du drain original au Lusitanien et création du side-track GCTM-3ST au Néocomien

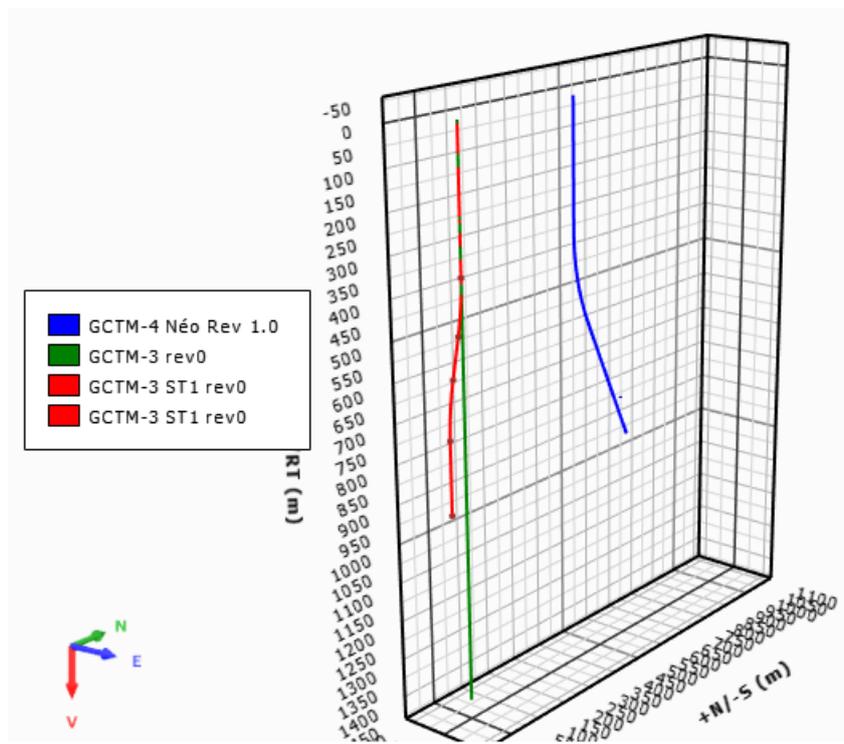


Figure 61 : Profils des ouvrages pour un repli au Néocomien

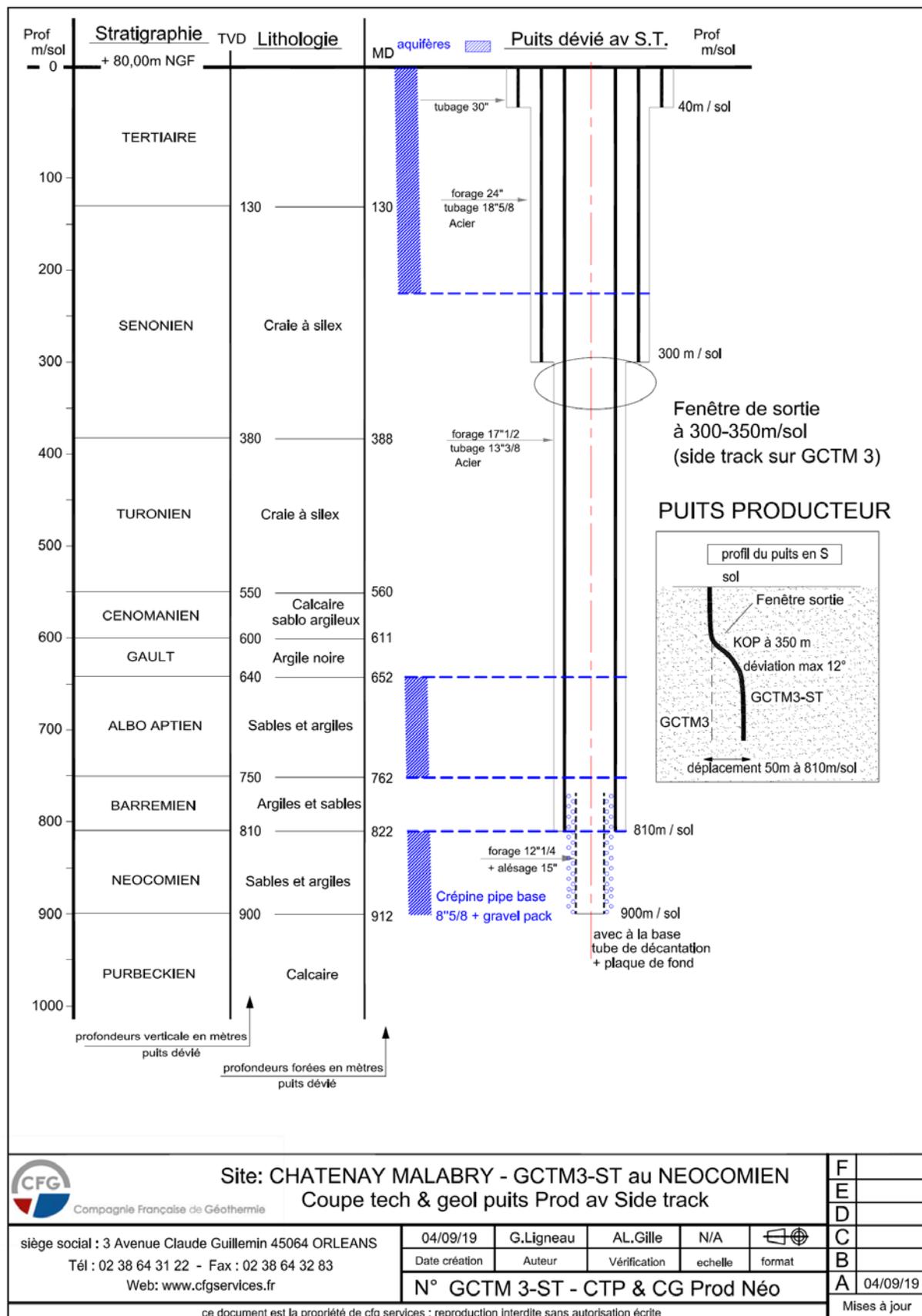


Figure 62 : Coupe technique prévisionnelle du puits de production GCTM3-ST

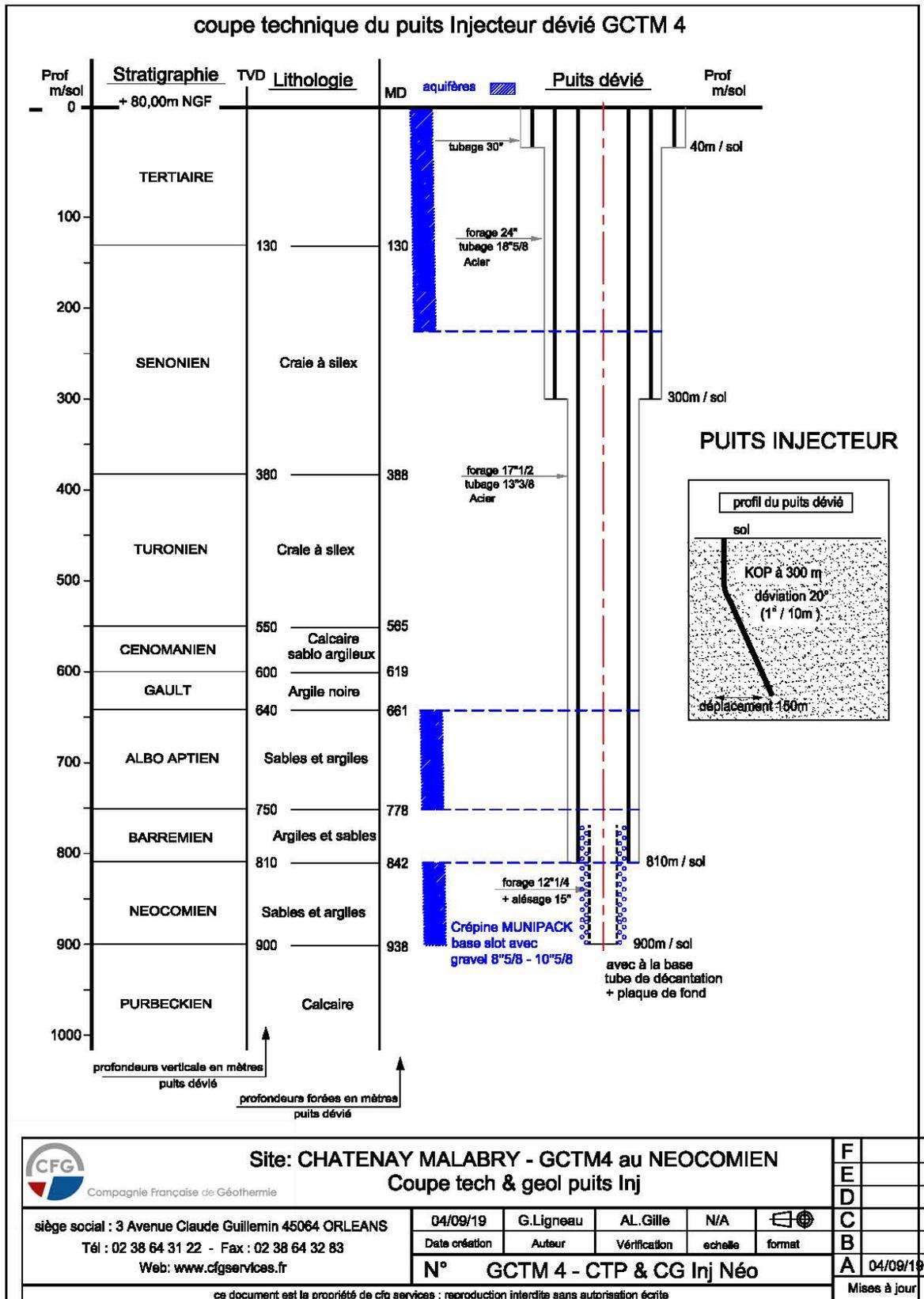


Figure 63 : Coupe technique prévisionnelle du puits d'injection GCTM-4

2.9.4 Description et fonctionnement de la boucle géothermale

2.9.4.1 Généralités

Il est prévu d'exploiter le gisement par l'intermédiaire d'un équipement de pompage immergé (Cf. 3.1.6). La figure ci-dessous présente schématiquement les principaux organes fonctionnels de la boucle géothermale.

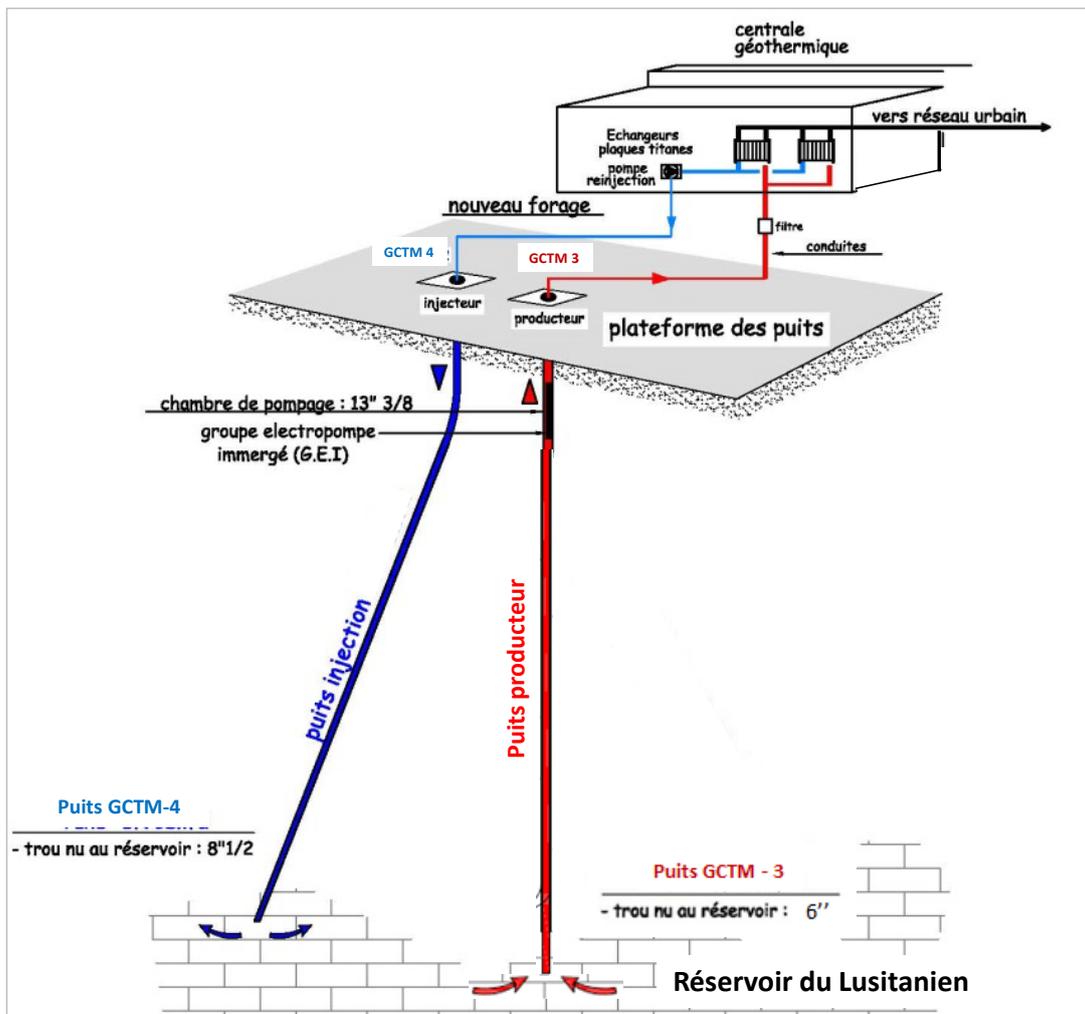


Figure 64 : Schéma de principe de la boucle géothermale au Lusitanien

2.9.4.2 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 (Cf. Tableau 23). L'échangeur de chaleur constitue la limite géothermale / géothermique.

Les spécifications techniques des équipements sont déterminées pour un fonctionnement au débit maximal de $150 \text{ m}^3/\text{h}$ et une température d'exhaure de $55 \pm 5^\circ\text{C}$.

Le dimensionnement définitif des équipements de production dépendra des résultats des essais de production et de réinjection réalisés en fin de travaux de forage.

Les caractéristiques des équipements fixes de la boucle géothermale (puits, choix des tubages, dispositif de traitement inhibiteur, conduite de surface, échangeurs) sont déterminées pour résister aux contraintes physiques et chimiques des fluides (eau géothermale, inhibiteur de corrosion) et limiter les pertes de charge.

Les caractéristiques des éléments mobiles de la boucle géothermale (pompes 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 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 :

- la qualité des matériels à l'achat ;
- le choix de matériaux appropriés à la corrosivité du fluide géothermal ;
- la maintenance et conduite des équipements.

Leurs caractéristiques techniques seront précisées au stade des études de projet.

Les principaux avantages de la solution projetée qui consiste à réaliser un doublet en casing toute hauteur en matériau composite (fibre de verre) est multiple :

- Absence des phénomènes de corrosion avec risques de percement des tubages;
- Absence des risques de collement du tube de traitement et de travaux lourds de réhabilitation car plus de nécessité de recourir à un traitement en inhibiteur de corrosion;
- Stabilité des pertes de charge – pas de modification de la rugosité des cuvelages sur le long terme
- Diminution des charges d'exploitation notamment en consommables (P1).

Dans le cas des puits de géothermie visant l'aquifère du Dogger ou dans notre cas le Lusitanien, la sélection des tubages en fibre de verre est conditionné par les efforts mécaniques engendrés principalement par les opérations de descente et de cimentation pendant la réalisation des ouvrages.

Historiquement les tubages en acier sont volontairement surdimensionnés pour compenser la perte de matière par corrosion pendant l'exploitation des ouvrages.

Pour la cimentation, l'expérience a montré que le type de fluide pompé en amont du ciment pour nettoyer le puits sera critique pour assurer un bon nettoyage du trou et du diamètre extérieur du composite afin d'assurer le « bonding » ou l'adhérence entre le ciment et les tubes en composite. Ce nettoyage de trou au préalable de la cimentation sera facilité par la verticalité du puits producteur GCTM-3.

Globalement, les équipements utilisés pour la mise en œuvre de tubes en fibre de verre sont similaires - voire identiques - à ceux utilisés pour les tubages en aciers (sabot de cimentation, centreurs, clés hydraulique...). Certaines précautions spécifiques à la fibre de verre doivent cependant être prises du fait de son plus faible poids et de sa plus faible résistance aux chocs.

Sous-ensembles fonctionnels	Fonction	Fréquence de Renouvellement
Dispositif d'injection d'inhibiteur de corrosion - Station de traitement associée	Lutter contre les phénomènes de corrosion et de dépôts dans le puits injecteur et les installations de surface.	7 ans
Groupe électropompe immergé (GEI) et colonne d'exhaure	Relevage de l'eau géothermale, Assurer le débit de production, Maintenir une pression minimale en tête de puits (pression de dégazage).	5 ans
Régulation et contrôle des puits, des installations de surface et du fluide	Régulation des pressions et des débits en fonction des besoins, Sécurité et Contrôle	5 ans
Equipements électriques d'alimentation depuis le tableau HT	Alimentation électrique du groupe de pompage en moyenne tension 4200 V, Entraînement du groupe à vitesse variable en fonction de la pression "point de bulle"	30 ans
Filtration réseau géothermal	Elimination des éléments pouvant réduire la durée de vie des échangeurs.	30 ans
Echangeurs de chaleur à plaques titane	Transférer l'énergie thermique du fluide primaire (réseau géothermal) au fluide secondaire (réseau géothermique).	30 ans
Pompage de réinjection, équipements électriques d'alimentation depuis le TGBT	Réinjecter la totalité du volume extrait et Vaincre les pertes de charge	30 ans, 20 ans
Réseaux d'eau géothermale de surface	Relier les deux forages du doublet jusqu'à la centrale en traversant l'échangeur de chaleur	30 ans

Tableau 23 : Description sommaire des équipements de complétion de la boucle géothermale

2.9.4.3 Spécificités de la solution de repli au Néocomien

2.9.4.3.1 Disponibilité de l'ouvrage en situation de crise et contrôle des équipements de secours

Compte tenu que le puits producteur du doublet géothermique au Néocomien sera également un puits de secours en alimentation d'eau potable en cas de crise, l'exploitant veillera, par tous les moyens appropriés, à la disponibilité effective de l'ouvrage pour les situations de crise pour l'alimentation en eau potable des populations. En particulier :

- Une pompe dimensionnée pour fournir un débit de 150 m³/h (ou à défaut de ne pouvoir atteindre ce débit, le débit maximal exploitable déterminé lors des pompages d'essais) est placée à une cote suffisante pour ne pas être dénoyée compte tenu des rabattements induits par le pompage à 150 m³/h ou au débit maximal exploitable ; cette pompe est maintenue en bon état de fonctionnement ; le site est équipé afin de permettre la mise en œuvre d'une alimentation électrique secourue sous 24h ;
- L'exploitant met en œuvre les dispositions prévues par le plan local d'alimentation en eau de secours, lorsqu'il existe, afin de permettre le raccordement de l'ouvrage et la mise à disposition de l'eau en cas de crise.
- L'exploitant contrôlera la résistance à l'isolement de la pompe d'exhaure.

La mesure du niveau statique dans l'ouvrage est effectuée une fois par an après un arrêt d'exploitation de 24 h.

Un contrôle du bon fonctionnement des équipements destinés à assurer l'alimentation de secours en eau potable (pompes et moyens d'exhaure) est effectué tous les ans.

2.9.4.3.2 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. L'échangeur de chaleur constitue la limite géothermale / géothermique. Ces éléments sont identiques quel que soit l'aquifère retenu.

Les spécifications techniques des équipements sont dimensionnées pour une exploitation de la nappe du Néocomien à un débit nominal de 110-120 m³/h et maximal de 150 m³/h.

Les caractéristiques des éléments mobiles de la boucle géothermale (pompes 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 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 :

- la qualité des matériels à l'achat ;
- la maintenance et conduite des équipements.

En outre, les forages seront équipés de crépines qui ont pour rôles principaux de :

- soutenir les parois de la formation captée bouillante (résistance mécanique) ;
- servir de filtre en évitant le transport des particules solides ;
- maintenir en place le massif de gravier quand celui-ci est installé ;

- répartir au mieux et rendre aussi laminaire que possible les écoulements entre forage et formation.

Les crépines utilisées seront en acier inoxydable (inox 316) de type pipe-base dont le coefficient d'ouverture (slot) sera adapté à la granulométrie des formations captées et des niveaux producteurs identifiés.

2.9.4.3.3 Prise en compte du risque de colmatage au puits de réinjection

Généralités

La réinjection a pour objectif premier de pérenniser quantitativement la ressource. Elle est cependant coûteuse en termes d'équipements supplémentaires (puits d'injection, déviation des puits, canalisations de raccordement, pompes), et nécessite une modélisation poussée de comportement d'un champ captant. Le risque de pollution chimique et/ou bactérienne liée au circuit de l'eau, doit également être pris en compte, en particulier pour le Néocomien exploité dans le secteur.

Sur le plan hydrogéologique, la réinjection dans des formations détritiques, sables et grès notamment, pose des problèmes d'injectivité dès lors que la fraction argileuse de la formation n'est pas négligeable impliquant la mise en œuvre et le dimensionnement d'équipements spécifiques, et notamment d'un massif filtrant (gravel-pack) et d'une colonne de captage (crépines).

Lorsque des débits importants sont visés, supérieurs à 150 m³/h, et que les caractéristiques de réinjection sont mal connues, il peut être prudent d'appréhender un débit maximal d'exploitation.

Le Néocomien étant un aquifère sableux, les facteurs pouvant affecter la réinjection dans cette nappe sont :

- les phénomènes thermiques avec les variations de viscosité ;
- les phénomènes hydrodynamiques ;
- les phénomènes mécaniques ;
- les phénomènes chimiques dont les précipitations ou dissolutions ;
- la présence de gaz piégé en particulier dans le forage d'injection ;
- l'aération et l'action de l'oxygène, avec pour conséquence l'oxydation et la corrosion ;
- la conception des forages et plus particulièrement le massif filtrant (gravel pack) ;
- la sensibilité de la formation à l'eau, notamment dans la dispersion des argiles ou des colloïdes argileux qui peuvent entraîner la migration de particules obstruant progressivement les pores de la formation réceptrice.

Retour d'expérience

Les opérations à l'Albien/Néocomien avec réinjection de l'eau en nappe ne sont pas fréquentes et les historiques d'injection sont difficiles à reconstituer. La réinjection dans ce type de réservoir reste complexe. Deux expériences de réinjection à l'Albien et Néocomien sont présentées ci-suit :

a) Fonctionnement du doublet au Néocomien – Le Plessis-Robinson

Le doublet géothermique du Plessis Robinson a été réalisé courant 2012 par la société Entrepose Drilling et mis en service en mars 2013. L'exploitation du doublet s'est faite de façon satisfaisante jusqu'en septembre 2016. Seule une constante et légère hausse attendue de la pression d'injection a été notée par l'exploitant. En septembre 2016, des travaux de nettoyage ont été entrepris sur le puits LPR-2. Cette opération se traduit par l'extraction d'un volume de sable voisin de 1 m³ (soit un volume proche des 58 m de tubes remplis de sables).

L'exploitation du doublet se poursuit pour la saison de chauffe 2016/2017 et une intervention de développement (opération fréquemment réalisée dans les puits exploitant des réservoirs sableux et dont plusieurs sont planifiées au cours de la vie de l'ouvrage) est programmée à l'automne 2017 pour procéder au nettoyage du proche-puits.

Suite à cette intervention, le puits a retrouvé des caractéristiques hydrodynamiques (débit spécifique) proches de celles d'origine. Le fonctionnement du doublet est conforme pendant 2 jours, puis une brusque remontée du niveau d'injection. Par précaution, il est décidé d'arrêter le doublet le temps de la réalisation du diagnostic pour ne pas prendre un risque d'endommagement plus important. Des travaux de nettoyage curage et développement du puits ont été entrepris en 2019, depuis la réalisation de ces travaux, la pression d'injection semble être stable depuis plusieurs mois à un débit de 120 m³/h (date de rédaction de ce dossier), montrant l'importance d'un bon nettoyage de la complétion et d'un développement adéquat.

b) Fonctionnement du doublet à l'Albien AGF Front de Seine – Paris

Ce doublet est un cas unique en Ile de France. Depuis 1991 il alimente les installations thermo-frigorifiques à usage de chauffage et climatisation des tours Mirabeau et Cristal à Paris. Initialement conçu pour fonctionner en mode stockage de chaud ou de froid (un puits chaud vertical - B16, un puits froid incliné - B20), des difficultés ont cependant été rencontrées en cours d'exploitation. Alors que la boucle géothermale fonctionnait parfaitement en mode hiver du puits chaud vers le puits froid, le changement de sens du flux lors de la saison estivale engendrait une augmentation de la pression qui empêchait la poursuite de l'exploitation.

Après un diagnostic du doublet, la modification des tubes auxiliaires d'injection et la mise en place de systèmes de venturi destinés à purger l'air contenu dans les canalisations avant démarrage des installations, il est dorénavant possible, d'inverser le sens de fonctionnement du doublet de sorte que chaque puits peut être tour à tour producteur ou injecteur. Une inversion du sens de fonctionnement des puits de courte durée permet de réduire l'augmentation de la pression d'injection avec comme effet de « nettoyer » ou décolmater rapidement les puits et de maintenir un débit d'exploitation compris entre 100 et 150 m³/h, et ce, depuis plusieurs années.

Solution envisagée dans le cadre du projet de repli de Châtenay-Malabry

Le retour d'expérience montre qu' un rétro-lavage périodique par circulation inverse du fluide permet de prévenir les colmatages et de maintenir l'injectivité du réservoir.

Le rétro-lavage est assuré par une pompe immergée se situant dans la chambre de pompage du puits de réinjection ; celle-ci est utilisée périodiquement pour une durée de quelques heures avec rejet à l'égout au moins en début de l'opération. Si une convention de rejet existe sur l'exploitation, les rejets peuvent continuer de se faire à l'égout. Sinon le fluide géothermique sera réinjecté dans le puits de production préalablement filtré en surface via le système de filtration.

Le rétro-lavage a un impact sur le puits de réinjection par la création d'une chambre de pompage avec bi-passage de la pompe immergée lorsqu'on est en production normale mais également sur le puits de production qui doit être muni du même système lorsqu'on est en mode rétro-lavage. Par ailleurs, le rétro-lavage impacte également la boucle de surface selon les adaptations suivantes :

- Système de vannes d'inversion du fluide au niveau de la filtration ;
- Systèmes de vannes d'inversion du fluide au niveau de la pompe de réinjection ;
- PN tuyauterie adapté à la pression de rétro-lavage.

Le volume d'eau rejeté dans le réseau (si convention de rejet) pour un rétro-lavage bimensuel de 2 heures à un débit équivalent à la réinjection (110-120m³/h) serait de l'ordre de 6000 m³ environ.

Les aspects relatifs à la filtration sont présentés au paragraphe 2.9.6.3.

2.9.5 Contraintes liées au fluide du Lusitanien

2.9.5.1 Corrosion

L'eau du Lusitanien est de type chloruré sodique avec une salinité de l'ordre de 8 g/L dans le secteur d'étude qui lui donne un caractère corrosif.

Des facteurs aggravants de la corrosion tels que l'activité bactérienne ou la teneur en sulfure, sont connus dans cet aquifère. Il est noté que l'eau géothermique du Lusitanien est probablement deux fois moins minéralisée que l'eau issue du Dogger avec néanmoins de plus fortes concentrations en sulfates.

La présence de gaz est également dommageable aux équipements, dès lors que la pression de point de bulle n'est pas respectée. Des facteurs aggravants de la corrosion tels que l'activité bactérienne ou la teneur en sulfure, déjà connus au Dogger, pourront accentuer ces phénomènes. En effet le caractère réducteur de l'eau géothermique et la forte teneur en sulfates sont propices développement de bactéries sulfato-réductrices.

La mise en place d'un traitement ne justifie pas l'abandon de 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 par exemple notamment pour les groupes de pompage immergés par exemple.

Les processus de corrosion constituent un risque vis-à-vis de l'intégrité des cuvelages et donc de pollution des aquifères sus-jacents, en particulier celui de l'Albien-Néocomien.

Le choix d'un simple tubage cimenté en matériau composite pour le puits producteur et d'un double casing mixte acier et composite au droit du puits injecteur permettra de constituer une barrière

étanche et de minimiser ainsi le risque de perforation des cuvelages par effet de la corrosion de l'acier. Le matériau composite est de ce fait particulièrement adapté pour équiper les exploitations géothermales du Lusitanien (Cf. paragraphe 2.3.5).

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.

2.9.5.2 Risque de dépôts

L'eau du Lusitanien présente naturellement une tendance à la précipitation de minéraux de type sulfures de fer (pyrite FeS_2), oxydes de fer (hématite Fe_2O_3) et d'un minéral de type alumino-silicates (kaolinite). Ce risque de précipitation sera également présent le long des installations.

L'étude de l'évolution des équilibres chimiques au cours de son refroidissement de 55°C à 5°C , réalisée par CFG dans l'étude de faisabilité du projet, a montré que le refroidissement de l'eau géothermale du Lusitanien pourrait induire des risques de précipitation pour la pyrite, l'hématite (Fe_2O_3), la fluorine (CaF_2) et la kaolinite si toutes les conditions géochimiques sont requises. La limitation à 20°C de la température de réinjection devrait éviter la précipitation de la fluorine au proche réservoir.

L'analyse des conditions de température influençant les conditions d'équilibre des minéraux conduit à constater que la température minimale prévisionnelle de 20 ou 25°C n'apparaît pas comme une température charnière de changement important d'état d'équilibre (passage de la sous-saturation à l'équilibre, passage de l'équilibre à la sursaturation) pour la plupart des minéraux étudiés. Par précaution et étant donné l'unique échantillon d'eau connu au Lusitanien, la température minimale de réinjection peut être fixée dans un premier temps à 20°C sans risque majeur sur l'exploitation et le réservoir.

Il est rappelé toutefois qu'étant donnée la complexité des phénomènes de corrosion/dépôt et l'incertitude sur la chimie de l'eau du réservoir à Chatenay, ces conclusions ne sont pas absolues. Ce travail pourra tout à fait être complété lorsque CFG disposera d'un prélèvement d'eau représentatif du Lusitanien après quelques mois de fonctionnement de la boucle géothermale.

Le maintien d'une pression, en tout point de l'installation, supérieure à la pression de point de bulle et le choix d'un matériau en composite permettra de limiter le risque de dépôts le long des installations.

2.9.5.3 Filtration

A la production, l'eau du Lusitanien pourrait véhiculer 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 en tête de puits d'exhaure est donc classiquement mise en œuvre à l'aide d'un filtre à tamis de maille 300 à $500\ \mu\text{m}$.

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 du Lusitanien devrait être relativement tolérant quant à la teneur en particules du fluide si son comportement est proche de celui du Dogger. Il est cependant sensible au colmatage si les phénomènes de corrosion et de précipitation de sulfures de fer deviennent trop importants.

La sensibilité des réservoirs carbonatés aux acidifications devrait permettre une bonne restauration des caractéristiques en cas de dégradation.

2.9.6 Contraintes liées au fluide du Néocomien

2.9.6.1 Corrosion

L'eau de l'aquifère multicouche de l'Albien-Néocomien est une eau douce d'une nappe captive isolée des échanges avec la surface, et de ce fait, anaérobie. La teneur en oxygène de l'eau est nulle et l'eau est ferrugineuse, c'est-à-dire qu'elle contient du fer soluble à l'état d'ion ferreux (Fe^{2+}). La présence de ce fer ferreux révèle les conditions réductrices qui règnent dans le réservoir de l'Albien, puisque la spéciation du fer et sa solubilité sont conditionnées par la valeur du potentiel d'oxydo-réduction (Eh) du milieu. Le fer dissous, Fe^{2+} , de l'Albien-Néocomien, s'il venait à être oxydé, précipiterait rapidement, parce qu'il s'oxyderait en Fe^{3+} (ion ferrique) et précipiterait sous forme d'hydroxyde de forme $\text{Fe}(\text{OH})_3$, en particulier à la sortie des conduites.

L'eau de l'Albien-Néocomien riche en fer nécessite actuellement un traitement de l'eau par aération pour la rendre potable. La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer ou corrodent les canalisations. La contamination ou la présence de bactéries thio-sulfato-réductrices et sulfato-réductrices pourraient s'avérer très néfastes aux ouvrages et par la suite au réservoir et à la ressource.

Il apparaît tout de même que le potentiel de développement microbologique anaérobie, dans le proche réservoir du Néocomien côté production, sur les tubages, sur les échangeurs, dans le puits injecteur et dans le réservoir côté injection d'une microflore indigène ou non, est relativement faible. L'eau est douce, pauvre en sulfates et sans apport en nutriments pour les bactéries (pas de matière organique, faible présence de CO_2).

En outre, les forages seront équipés de crépines qui ont pour rôles principaux de :

- soutenir les parois de la formation captée bouillante (résistance mécanique) ;
- servir de filtre en évitant le transport des particules solides ;
- maintenir en place le massif de gravier quand celui-ci est installé ;
- répartir au mieux et rendre aussi laminaire que possible les écoulements entre forage et formation.

Les crépines utilisées seront en acier inoxydable (inox 316) de type pipe-base dont le coefficient d'ouverture (slot) sera adapté à la granulométrie des formations captées.

2.9.6.2 Risque de dépôts

Les études de Raoult (1999)¹ ont permis de constater que les eaux de l'Albien-Néocomien du sud, de l'ouest et du nord-est de la région parisienne sont sous-saturées vis-à-vis de la calcite mais aussi, pour le sud, vis-à-vis de la dolomite.

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.

¹ Source : rapport BRGM RP-55990-FR

En absence de prolifération bactérienne et d'aération, il n'y a pas de risque chimiques majeurs (de précipitation d'espèces sur les parois des tubages, de l'échangeur, des tubages de l'injecteur et dans le réservoir côté injecteur) lors de son exploitation typique, définie comme suit :

- Une décompression isotherme depuis le proche réservoir jusqu'à l'entrée des échangeurs de chaleur ;
- Un refroidissement quasi-isobare depuis l'entrée des échangeurs jusqu'à la sortie des échangeurs ;
- Une compression isotherme depuis la sortie des échangeurs jusqu'au sabot du puits d'injection ;
- Un réchauffement isobare depuis le sabot du puits d'injection dans le réservoir profond.

Une attention particulière sera cependant portée au choix des matériaux, et l'utilisation d'acier inoxydable 316 est souhaitable.

2.9.6.3 Filtration

L'observation de la stratigraphie de l'Albien ou du Néocomien montre une succession de sables et d'argiles. Malgré la crépine et les massifs filtrants, une quantité de matières composé de sables et d'argiles peuvent remonter avec l'eau géothermale du puits producteur et se voir réinjecter dans le puits injecteur, ce qui à terme peut poser des problèmes de réinjection et d'augmentation importante des pressions d'injection.

La qualité de pose de la crépine et de son massif filtrant peut limiter dans une proportion importante la remontée de ces particules. Les colloïdes ou particules d'argile ont une taille de l'ordre du demi-micron, la granulométrie des sables est de l'ordre de la centaine de microns. En fonction de cette fraction argileuse la taille des filtres devra être adaptée.

De manière préliminaire, l'ensemble de filtration pourrait être composé d'un filtre multi-poches de maille d'environ 50 μm suivi d'un filtre multi-cartouches de 0,5 μm . Les poches et cartouches sont attestés à la conformité sanitaire ou alimentaire. Les corps de filtre sont en inox 316 L et les joints de qualité alimentaire.

La filtration adaptée à la nature de la fraction argileuse associée à un rétro-lavage permet d'envisager l'exploitation de la ressource aux débits nécessaires à la ZAC.

2.9.7 Contrôles périodiques et suivi d'exploitation au Lusitanien

2.9.7.1 Suivi par l'exploitant

Le futur exploitant du réseau de chaleur de la ZAC devra assurer, 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.

Pour ce qui concerne les ouvrages du sous-sol, l'exploitant 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 les arrêtés préfectoraux d'exploitation en vigueur dans le Bassin Parisien. A noter que le contenu et les fréquences du suivi sont prescrits à ce jour pour des puits au Dogger et servent comme référence pour les puits au Lusitanien.

2.9.7.2 Suivi par l'entreprise spécialisée

Un suivi des paramètres hydrodynamiques et électromécaniques des équipements de production constituant la boucle géothermale (groupe de pompage immergé, variateurs de fréquence, vannes, échangeurs...) sera réalisé par un prestataire spécialisé.

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.

2.9.7.3 Objectif et périodicité

L'objectif est double :

- optimiser la disponibilité et la productivité par une maintenance préventive ;
- garantir le respect des contraintes relatives à l'environnement.

Ces mesures sont généralement réalisées au rythme de quatre par an.

2.9.7.4 Interprétation des mesures

A l'issue de chacun de ces diagnostics, les éléments suivants sont rapportés et comparés avec ceux de l'auscultation précédente :

- productivité du puits d'exhaure (niveau hydrodynamique et rabattement) ;
- injectivité du puits d'injection ;
- état des groupes de pompage d'exhaure et d'injection (consommations électriques, puissances, rendements) ;
- 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 et sécurités électriques.

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 simultanément au maître d'ouvrage et aux entreprises impliquées dans l'exploitation, ainsi qu'à la DRIEE.

2.9.7.5 Spécificités de la solution du repli au Néocomien

Les puits font l'objet d'une inspection périodique, au minimum tous les dix ans, en vue de vérifier :

- l'étanchéité des installations concernées et l'absence de communication entre les eaux prélevées et les eaux de surface ou celles d'autres formations aquifères interceptées par les ouvrages ; cette inspection porte en particulier sur l'état des tubages et des cimentations ;
- la capacité de l'ouvrage producteur et de ses équipements à fournir les débits prévus par le SDAGE en cas d'application du plan secours en eau potable des populations. Il est à noter

que cette opération sera à réaliser ou pas en fonction des débits d'exploitation du puits de production qui aura en cas de crise le rôle de puits de secours.

Les opérations d'inspection suivantes seront réalisées tous les 7 ans (à minima 10 ans) :

- Pompage par paliers (4x 2h avec remontée intermédiaires) ;
- Pompage de longue durée de 72h minimum.

Le rapport d'interprétation de ces résultats sera transmis à la DRIEE.

2.9.8 Suivi des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau géothermale au Lusitanien

2.9.8.1 Contenu du suivi

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

2.9.8.2 Objectifs et périodicité

Les mesures sont réalisées à un rythme imposé par un arrêté préfectoral d'exploitation. Le tableau ci-dessous présente la fréquence et la périodicité classiques des mesures.

2.9.8.3 Interprétation des mesures

A l'issue de chaque série de mesures, les éléments sont rapportés et comparés avec ceux de l'auscultation 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 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. Les interprétations conduisent, selon les cas, à des mesures correctives d'exploitation ou à des diagnostics de désordres nécessitant des actions curatives. Le rapport est diffusé simultanément au maître d'ouvrage et aux entreprises impliquées dans l'exploitation, ainsi qu'à la DRIEE.

Paramètres	Périodicité
Fer total et dissous, Sulfure, pH, Eh, Conductivité	Tous les 2 mois
Composition ionique (SiO ₂ , Na, Ca, K, Mg, HCO ₃ , Cl, SO ₄ , Mn, NH ₄ , Sr, F) Mesure de la filtrabilité et des matières en suspensions Détermination de la présence de bactéries sulfato-réductrices et de ferrobactéries	Tous les 4 mois
Composition gazeuse (gaz libres et dissous : N ₂ , CH ₄ , H ₂ , H ₂ S, CO ₂) Recherche de traces d'O ₂ et d'H ₂ et contrôle de la valeur de la pression de point de bulle Détermination du rapport gaz/liquide (GLR)	Une fois par an

Tableau 24 : Détail des paramètres physico-chimiques suivis et périodicité selon des arrêtés préfectoraux d'exploitation en vigueur pour des puits au Dogger

2.9.8.4 Indicateurs de corrosion et traitement anticorrosion

Le contrôle de la corrosion des éléments métalliques constitutifs des tubages de puits, par la recherche d'indices au niveau des signaux transmis par le fluide doit faire l'objet d'un suivi particulier. Il comprend sur le fluide :

- le suivi de l'évolution de la teneur en fer dissous du fluide par rapport à un niveau de référence ;
- l'évolution de témoins de même nature que celui du tubage du puits de production par méthode gravimétrique ;
- une mesure instantanée de la vitesse de corrosion par sonde électrochimique.

La corrélation de ces trois types de test permet de conclure à la corrosivité du fluide et de connaître la vitesse de corrosion induite. Pour l'entretien du doublet, CFG préconise à minima la consommation de produit inhibiteur pour traiter les installations de surface et l'espace annulaire entre les tubages acier et le tube composite du puits injecteur.

Cette surveillance portera essentiellement sur le suivi de la quantité de produit injecté (par rapport à une teneur de consigne).

2.9.9 Suivi des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau géothermale au Néocomien

2.9.9.1 Contenu du suivi

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

Compte tenu que l'installation géothermique est constituée d'un puits secours d'eau potable en cas de crise et d'une fontaine, l'exploitation recouvre également :

- le prélèvement de l'eau brute ;
- le traitement de l'eau brute pour la rendre potable ;
- la distribution au public par une fontaine ;
- la protection du point de prélèvement.

2.9.9.2 Objectifs et périodicité

La qualité de l'eau du point de prélèvement jusqu'au point de distribution (tête de puits producteur, tête de puits injecteur et fontaine) fera l'objet d'un programme d'analyses à l'initiative de l'Agence Régionale de la Santé dans la cadre du contrôle sanitaire réglementaire. Ce suivi permettra de contrôler la qualité de l'eau produite et injectée.

Compte tenu des informations acquises auprès de la DRIEE, les analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau brute aux trois points cités ci-dessus seront effectuées tous les 3 mois (le rythme imposé sera indiqué par l'arrêté préfectoral d'exploitation). Les analyses physico-chimiques réalisées seront conformes à la réglementation en vigueur relative aux analyses d'eau destinées à la consommation humaine. Le contrôle bactériologique sera en conformité avec le décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine.

L'exploitant effectuera une analyse de l'eau brute comprenant l'ensemble des paramètres visés aux annexes I.1 et I.2 du décret 89-3 du 3 janvier 1989 modifié. Les prélèvements devront être réalisés après 48h de pompage à minimum 2 m³/h, de manière à obtenir des échantillons représentatifs de la qualité de l'eau de la nappe au droit des ouvrages dans les conditions normales d'exploitations.

Ce bilan sera complété d'une analyse physico-chimique de l'eau brute dans le cadre de l'auto-surveillance, sur les paramètres suivants :

Analyse complète		
paramètres		fréquence
<ul style="list-style-type: none"> ⊗ Température ⊗ pH ⊗ Conductivité ⊗ Turbidité ⊗ Sulfates ⊗ Bicarbonates ⊗ Chlorures ⊗ Manganèse ⊗ Sodium ⊗ Potassium ⊗ Nitrates ⊗ Nitrites ⊗ Ammonium ⊗ Carbone organique total (COT) ⊗ Fer ⊗ H2S ⊗ Equilibre calcocarbonique 	<ul style="list-style-type: none"> ⊗ Magnésium ⊗ Titre alcalimétrique complet (TAC) ⊗ Carbonates ⊗ Calcium ⊗ Silice ⊗ Matières en suspension ⊗ Filtration étagée ⊗ Oxygène dissous ⊗ Escherichia coli ⊗ Entérocoques ⊗ Coliformes totaux ⊗ Germes aérobies revivifiables à 22°C et 36°C ⊗ Bactéries sulfito-réductrices et sulfato-réductrices ⊗ Ferrobactéries 	<p>Tous les 6 mois pendant 2 ans La fréquence pourra être réduite à 1 fois par an, à partir de la 3^{ème} année, selon les résultats d'analyses obtenus</p>
Analyse réduite		
paramètres		fréquence
<ul style="list-style-type: none"> Température pH Conductivité Carbonates TAC Germes aérobies revivifiables à 22°C et 36°C Bactéries sulfito réductrices 		<p>Tous les 3 mois pendant 2 ans La fréquence pourra être réduite à 1 fois tous les 6 mois, à partir de la 3^{ème} année, selon les résultats d'analyses obtenus</p>

Tableau 25 : Paramètres et fréquences des analyses d'eau

2.9.9.3 Interprétation des mesures

A l'issue de chaque série de mesures, les éléments sont rapportés et comparés avec ceux des mesures précédentes. 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 de l'Albien au droit du site et la réglementation de l'eau destinée à la consommation humaine ;
- évolution de la charge solide ;
- nature et abondance des colonies bactériennes.

Chaque intervention sur site fera l'objet d'un rapport détaillé présentant une analyse critique des résultats et démontrant l'absence d'un impact de l'exploitation sur la ressource. Les interprétations conduisent, selon les cas, à des mesures correctives d'exploitation ou à des diagnostics de désordres nécessitant des actions curatives. Le rapport est diffusé simultanément au maître d'ouvrage et aux entreprises impliquées dans l'exploitation, ainsi qu'à l'ARS et la DRIEE.

Un bilan annuel sera rédigé et transmis à la DRIEE.

2.9.10 Suivi de l'état des tubages

2.9.10.1 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.

Classiquement, c'est un outil de type « diamètreur » mécanique (C.I.T. Casing Inspection Tool) qui évalue l'état du tubage sur toute sa longueur grâce à 40 palpeurs mécaniques dont seules les deux variations extrêmes sont enregistrées. Effectuer une diagraphie de façon régulière permet de déterminer l'évolution des phénomènes de dépôts ou de corrosion sur les puits mais surtout de localiser des zones plus particulièrement atteintes. Les inspections sont généralement réalisées tous les 3 ans sur les puits d'injection et tous les 5 ans sur les puits de production.

L'utilisation du diamètreur acoustique est préconisée par rapport aux diamètreurs mécaniques type multibras afin de limiter les contacts sur la surface du tubage en composite.

Pour le suivi règlementaire et l'entretien du puits producteur vertical en fibre composite, CFG préconise à minima:

- Les diagraphies par diamètreur acoustique et/ou si la turbidité de l'eau géothermale le permet, la réalisation d'une inspection télévisée tous les cinq ans sur le puits producteur.

Pour le suivi règlementaire et l'entretien du puits injecteur dévié avec liner en composite, CFG préconise à minima:

- Les diagraphies par diamètreur acoustique tous les trois ans et/ou si la turbidité de l'eau géothermale le permet, la réalisation d'une inspection télévisée sur le puits injecteur.

Ces observations permettent d'établir un diagnostic quant à l'état et à l'étanchéité du tubage.

Les comptes rendus de diagraphie sont diffusés simultanément au maître d'ouvrage et aux entreprises impliquées dans l'exploitation et le suivi ainsi qu'à la DRIEE.

2.9.10.2 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.

2.9.10.3 Spécificités de la solution de repli au Néocomien

2.10 Conditions d'arrêt d'exploitation du gîte géothermique

2.10.1 Définition des conditions d'arrêt de l'exploitation

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

- Cas 1 : après stimulation du réservoir en fin de travaux de forage, les tests de production ou d'injection fournissent des résultats considérés comme insuffisants, sans que des solutions techniques réalistes et économiquement acceptables puissent être mises en œuvre ;

- Cas 2 : une chute brutale de la température du fluide géothermique en tête de puits de production ne permet plus de valoriser la chaleur géothermique dans des conditions de rentabilité concurrentielles par rapport à d'autres modes de production énergétique ;
- Cas 3 : après contrôle, l'état des puits ne permet plus d'assurer la mobilisation de la ressource géothermique dans des conditions de sécurité suffisantes vis-à-vis de l'environnement et aucune solution technico-économique n'est envisageable.

2.10.2 Procédure d'abandon des puits

En l'application du décret n°2016-1303 du 4 octobre 2016 et en cas d'arrêt définitif de l'exploitation du gîte, le maître d'ouvrage adressera au Préfet à l'attention de ses services techniques instructeurs, une déclaration d'arrêt d'exploitation accompagnée d'une procédure d'abandon et de sécurisation des ouvrages.

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.

2.10.3 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.

2.11 Résumé de l'étude d'impact sur l'environnement

Dans le respect du Code Minier, un dossier réglementaire comprenant une demande de permis de recherche de gîtes géothermiques basse température au Lusitanien et une demande d'ouverture de travaux de forage sur la commune de Chatenay-Malabry est déposée par le maître d'ouvrage en préfecture et auprès des administrations concernées. Le périmètre du permis de recherche sollicité porte sur 3 communes des Hauts-de-Seine (92) :

- Chatenay-Malabry
- Sceaux
- Antony

Les futures autorisations de recherche et d'ouverture de travaux exploratoires feront l'objet d'un arrêté préfectoral.

Conformément à la réglementation, cette demande est accompagnée d'une étude d'impact environnemental du projet concernant la phase des travaux et la phase d'exploitation. Cette étude d'impact fait l'objet du Chapitre 4.

L'étude d'impact se présente à la fois comme une procédure administrative et une démarche scientifique préalable destinée à analyser l'insertion du projet dans l'ensemble des composantes de l'environnement (eau, air, sol, plantes et animaux). Elle permet d'analyser les effets directs et indirects, immédiats et lointains, individuels et collectifs du projet sur l'environnement.

L'étude d'impact environnemental est également un outil d'information au service de l'autorité compétente pour instruire la demande d'autorisation et décider en toute connaissance de cause.

Enfin, l'étude d'impact environnemental contribue à l'information du public. En tant que telle, elle facilite la participation de ce même public. L'étude d'impact est ainsi jointe aux dossiers de demande d'autorisation de recherche et d'ouverture de travaux exploratoires sur lesquels le public est invité à réagir, présenter ses observations, ses remarques ou ses contre-propositions.

L'objet de l'étude d'impact présentée est de :

- décrire 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 envisagées pour supprimer, limiter et si possible compenser les effets négatifs.

Le site d'implantation du futur doublet forage géothermique est situé sur le site de la ZAC La Vallée, avec le site du puits de production au Sud-Ouest de la ZAC et le site du puits d'injection au Nord-est de la ZAC. Le site du puits d'injection prendra place sur les parcelles n°124, 126 et 133. Le site du puits de production prendra place sur la parcelle n°51. L'accès aux sites se fera via les avenues de la Division Leclerc et Sully Prudhomme et de la rue Grande voie des Vignes.

Le site est composé essentiellement de talus enherbés, d'une voirie, de déblais de chantier et des arbres. La grande majorité des bâtiments de l'ancienne Ecole Centrale ont été démantelés et la ZAC est en cours d'aménagement.



Figure 65: Etat du site en juillet 2019

Dans le PLU de Chatenay-Malabry, le site du projet appartient à la zone UEC qui est dédiée à la création de l'éco-quartier de La Vallée. Le PLU indique que cette zone fait l'objet d'une Opération d'Aménagement Programmée. Le projet de forage du doublet géothermique et l'exploitation géothermique de Chatenay-Malabry sont compatibles avec les conditions d'occupation et d'utilisations décrites aux chapitres de la zone UEC du règlement du PLU 2019.

Le projet est situé sur une zone OAP (Opération d'Aménagement particulier). Le projet de forage des puits et l'exploitation géothermique de la ZAC La Vallée, situé à proximité d'établissements scolaires, est compatible avec le caractère du voisinage. La mise en place de mesures de protection de l'environnement, de mesures compensatoires et de mise en sécurité du public sur la durée courte du chantier ne portera pas atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique.

Cette zone OAP fixe toutefois un objectif de trame verte sur le site de la ZAC La Vallée. Les actions indiquées pour renforcer de la trame verte (principalement à l'ouest de la ZAC) sont l'aménagement d'espaces paysagers et liaisons douces le long de la coulée verte, l'élargissement de la coulée verte avec des espaces non constructibles. Les conditions d'aménagement particulières seront prises en compte dans les prescriptions architecturales, environnementales, paysagères et urbaines de la ZAC La Vallée. Une ferme urbaine est prévue sur l'ouest de la ZAC (figure A ci-dessous), le site du puits de production d'intégrera dans cet espace avec une zone de servicing décompactée.

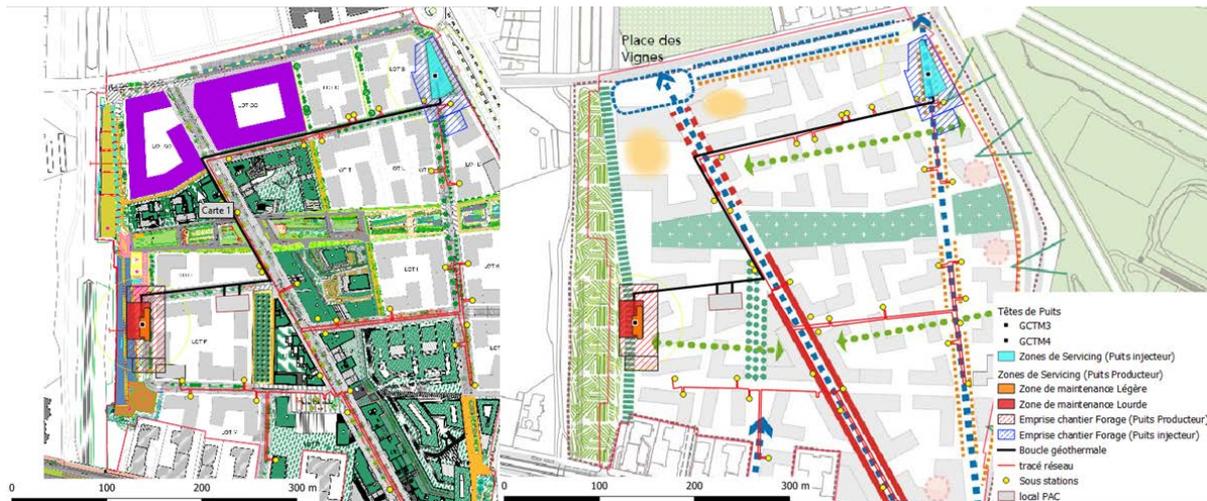


Figure 66: Plan de masse de la ZAC après aménagement (A), OAP de la ZAC dans le PLU (B)

Le site d'étude est concerné essentiellement par la servitude liée à la protection du patrimoine historique avec le domaine de Sceaux et l'Eglise Saint-Germain l'Auxerrois. Cependant cette servitude implique une attention particulière soit portée à la qualité architecturale et à l'insertion paysagère de nouveaux projets sur le site de la ZAC La Vallée. Les têtes de puits de géothermie seront situées dans des caves, ce qui n'impactera pas le paysage.

Aucune zone Natura 2000 n'a été répertoriée dans un rayon de 5 km autour du chantier.

Une ZNIEFF est située à proximité du site à environ 90 m pour la plus proche; il s'agit de la ZNIEFF de type I: Prairies et Boisements du Parc de Sceaux ID MNHN 110020469 (Cf. Figure 13). Les pâtures mésophiles constituent le seul habitat déterminant de la ZNIEFF et accueillent des insectes déterminants tels que le demi-deuil, la Decticelle carroyée et la Decticelle bariolée. Le parc accueille aussi plusieurs espèces de chiroptères qui gîtent probablement sur place et profitent à la fois des prairies et des zones boisées protégées.

Le site est situé à proximité de l'Espace Naturel Sensible de la coulée verte du Sud Parisien. Cet espace de continuité écologique est pris en compte dans les prescriptions architecturales, environnementales et urbanistes de la ZAC où s'intégrera le futur puits de production.

Le site du chantier de forage n'appartient pas à un Espace Boisé Classé (EBC) et ne comprend pas d'arbres remarquables tel que défini dans le PLU de la commune. Il peut être remarqué que les chantiers de forage et la ZAC n'appartiennent à aucun espace naturel protégé.

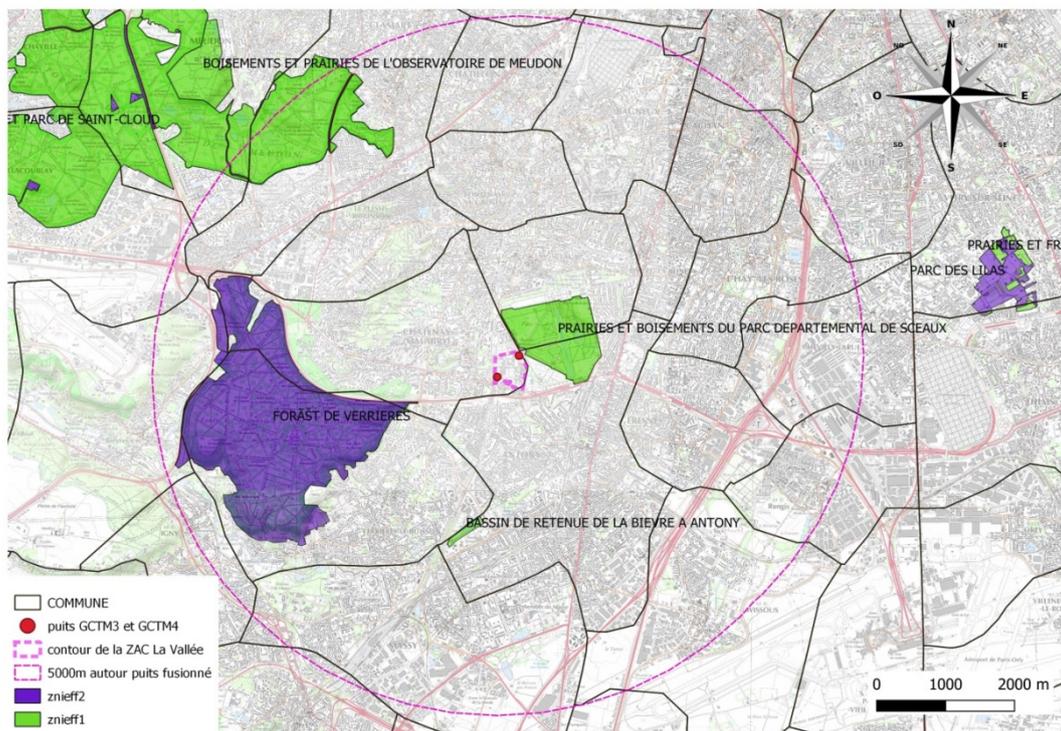


Figure 67: Zones naturelles ZNIEFF dans le secteur d'étude

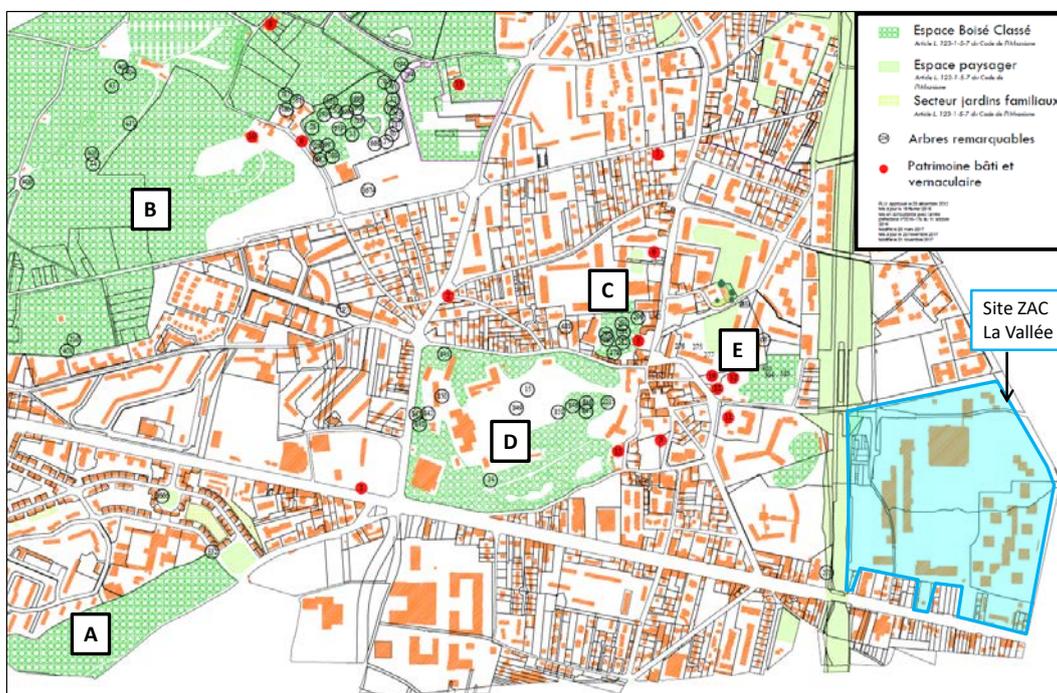


Figure 68: Patrimoine remarquable et Bois Classés de la commune (PLU Châtenay-Malabry)

Un inventaire a été réalisé en 2016 entre avril et août pour préciser la flore et les habitats naturels du site ; où des lépidoptères, les orthoptères, les oiseaux et les mammifères chiroptères étaient présents sur le site concluant que certains éléments du paysage peuvent être assimilés à des éléments support de biodiversité. Ces éléments sont repérés sur la figure ci-dessous et comprennent le talus herbacé à l'ouest, les espaces verts arborés au nord-est et la parcelle privée au sud.



Figure 69: Synthèse et hiérarchisation des enjeux écologiques sur la ZAC (Etude d'impact, Even Conseil, Avril 2018)

Le site du forage de production est proche du talus ouest avec la présence de la zone de transit des chiroptères, de l'habitat boisé de la Sittelle torchepot et du Conocéphale gracieux. Ce dernier est une espèce protégée et habite le haut du talus ouest. La partie haute du talus est protégée par l'arrêté préfectoral DCPAT n°2019-021 en date du 25 février 2019, tandis que le talus en lui-même est marqué comme zone tampon mais à faible intérêt écologique. Une partie du chantier de forage se situe dans ce bas talus, la surface du chantier sur ce bas talus a été réduite au maximum afin de limiter l'impact en proximité de l'habitat du Conocéphale gracieux. Le site du puits d'injection est principalement concerné par l'habitat boisé de la Sittelle torchepot.

Etant donnée la probabilité d'une présence de zone humide, une étude pédologique et végétation a été réalisée par le cabinet Even en 2018 qui a pu déterminer la présence d'une zone humide sur le site de la ZAC. Cette zone de 260 m² sera détruite lors de l'aménagement de la ZAC, une zone humide de compensation de 730 m² sera construite à proximité de la zone humide initiale (chevauchement partiel). Les sites du chantier de forage ne seront pas situés sur ces zones potentiellement humides.

Les enjeux pour la ZAC seront donc de profiter des aménagements pour valoriser le potentiel écologique du site, notamment en préservant la portion boisée d'intérêt fort ou à défaut en reconstituant un milieu comparable, en étudiant les possibilités de conservation des espaces d'intérêt moyen, en permettant le maintien des espèces protégées par reconstitution d'habitats appropriés en milieu ouvert.

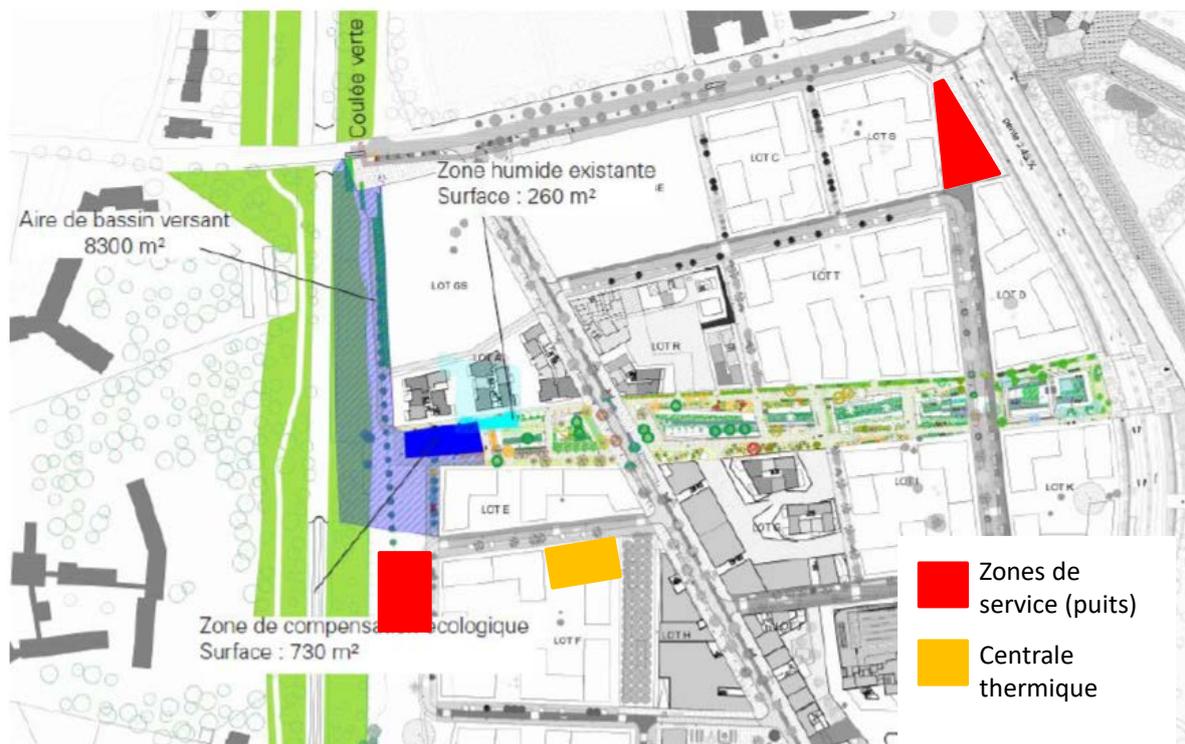


Figure 70: Zone de compensation écologique pour la destruction de la zone humide (Etude d'impact ZAC, Even Conseil, Avril 2018)

Les sites du futur chantier de forage peuvent se révéler intéressants comme habitat permanent pour la faune et la flore et ainsi jouer un rôle dans la continuité écologique au niveau du territoire de Châtenay-Malabry. En phase chantier, la zone aménagée pour installer la machine de forage sera adaptée pour respecter au mieux les groupements d'arbres recommandés pour la conservation dans le cadre de l'aménagement de la ZAC. Certains devront être abattus afin d'aménager l'espace nécessaire pour le chantier. Cet abattage sera réalisé dans les règles de l'art en matière de période, méthodologie et appel aux associations protectrices des oiseaux (LPO), etc. De même en phase chantier, afin de limiter l'impact des éclairages sur les populations de chiroptères, un changement de spectre lumineux des éclairages est envisagé. L'ensemble des mesures compensatoires ou réductrices feront l'objet d'un Plan d'Assurance Environnement (PAE) dont les préconisations seront imposées aux entreprises de forage dans leur cahier des charges.

En phase exploitation, cette continuité écologique sera traduite au niveau du décompactage de la zone de servicing du puits et de la destruction de la dalle en béton servant pour le forage des puits. Au niveau du puits producteur, une grande partie de la surface de servicing sera rendue à la ferme urbaine à l'issue des travaux. Au niveau du puits injecteur, la zone fera l'objet d'un aménagement respectant les contraintes environnementales et architecturales en accord avec les engagements du projet de la ZAC.

Le site d'étude n'est pas concerné par les zones de submersion ou de débordement de cours d'eau comme la Seine. Le risque d'inondation par remontée de nappes est considéré comme très fort compte tenu de la présence d'une nappe sub-affleurante.

Selon les cartes d'aléas du BRGM, l'aléa de mouvements de terrain dans le secteur d'étude lié au phénomène de gonflement/retrait des argiles est *a priori* fort et celui lié aux cavités souterraines ou carrières est absent sur le site d'étude. Compte tenu de ces aléas, l'infiltration à la parcelle ne sera pas possible et l'ensemble du projet de la ZAC entraînera une augmentation de l'imperméabilisation des sols.

Un dossier de demande d'autorisation environnementale au titre de la loi sur l'eau a été déposé par la SEMOP Châtenay-Malabry Parc –Centrale en avril 2018. Le système d'assainissement prévu en conséquence permettra :

- De minimiser l'impact de cette imperméabilisation des sols :
 - o d'une part, grâce à des techniques mises en œuvre pour limiter le ruissellement : toitures végétalisées, revêtement de sols poreux, noues, espaces verts, etc.
 - o d'autre part, par la mise en œuvre de dispositifs de stockage, visant à ralentir le ruissellement ou stocker temporairement les eaux pluviales avant de les rejeter selon un débit écrêté de 42,7 l/s : noues de stockage, espaces verts ou minéraux à inondation temporaire et maîtrisée.
- De stocker 5877 m³ environ, pour une pluie d'occurrence 10 ans, pour l'ensemble de la ZAC avec un débit régulé à 2 L/s/ha sur le réseau.
- De respecter les normes de qualité générale des eaux au niveau du rejet au milieu récepteur.
- De gérer sur site, conformément au SAGE de la Vallée de la Bièvre, c'est-à-dire sans rejet au réseau, les petites pluies d'une hauteur de précipitation de 8 mm.
- De compenser, à la suite des conclusions des études en cours, l'actuelle zone humide de 260 m² par la création d'une nouvelle zone humide de 730 m².

Le futur réseau d'eaux usées sera raccordé au réseau existant. Les eaux usées collectées seront traitées à la station de Seine Amont.

La surface dédiée au chantier sera traitée en voirie lourde et imperméabilisée par une membrane géotextile et un enrobé avec un réseau de caniveaux périphériques destiné à drainer les effluents du chantier vers le bournier par l'intermédiaire d'un bac déshuileur qui piège les effluents polluants. En phase chantier, les dispositions nécessaires sont prises pour qu'il ne puisse y avoir d'entraînement par les eaux pluviales de matières dangereuses ou insalubres dans le milieu naturel (Arrêté du 14 octobre 2016, art 21).

Une fois les travaux de forage et de construction de la centrale réalisés, l'eau de ruissellement sera collectée séparément et sera dirigée vers le réseau d'eau pluviale selon la convention de rejet signée avec le concessionnaire du réseau d'assainissement.

Le bruit est une nuisance ressentie par les citoyens du fait de la présence de nombreux équipements de transports. D'après le PLU, la commune est très exposée aux bruits notamment du fait des infrastructures de transport telles que le périphérique d'Ile-de-France (A86), la RD986 et l'aérodrome de Villacoublay situé à environ 7 km du centre-ville. Ces infrastructures engendrent un bruit ambiant moyen supérieur à 75 dB(A) sur une journée (24h) à leurs abords.

Une campagne de mesure acoustique s'est déroulée en 2016 pour préciser le niveau sonore initial du site de la ZAC La Vallée avant le début de l'aménagement de l'éco-quartier. Les mesures ont montré des niveaux sonores globalement faibles, entre 50 et 67 dB(A) de jour, entre 43,5 et 60 dB(A) de nuit.

L'indicateur principal de gêne retenu par 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'indice Lden* est retenu pour caractériser le bruit de fond résiduel. *Indice Lden : moyenne des bruits mesurés la journée et la nuit avec une pondération pour le niveau sonore la nuit afin d'aboutir à une meilleure représentation de la gêne perçue par les riverains tout au long de la journée.

La comparaison entre le niveau de bruit résiduel hors ZAC et le niveau de bruit ambiant occasionné par l'appareil de forage (valeurs indicatives) montre des valeurs d'émergence inférieures à 5 dB sur la plateforme du puits injecteur et inférieures à 10 dB sur la plateforme du producteur au regard de l'indice Lden (Cf. Figure suivante).

Les valeurs moyennes de bruit, mesurées précédemment sur un chantier de forage et dans son environnement durant la journée de 7h à 22h, sont données à titre indicatif et dépendront fortement du choix de la machine de forage retenue par le maître d'ouvrage.



Figure 71: Rose des bruits des forages (points) avec la carte des relevés de bruit Indice Lden (PLU)

Avant le début des travaux, une évaluation préalable des niveaux sonores et de leur impact sur les populations riveraines sera réalisée par un organisme de contrôle agréé (Arrêté du 14 octobre 2016, art 27).

Dans le cas où le chantier entrainerait des dépassements des niveaux sonores réglementaires, des mesures seront le cas échéant mises en œuvre pour limiter le bruit émergent du chantier afin

d'atteindre le plus bas niveau sonore qu'il est raisonnablement possible d'atteindre. Les mesures envisagées sont notamment le confinement des appareils générant le plus de bruit comme les groupes électrogènes, l'installation d'écrans sonores ou murs anti-bruits aux abords du site (murs de paille, bâche acoustique, containers empilés), des mesures régulières (jour, nuit) du bruit et des émergences sonores à différents points (site, habitations).

Face à la proximité des habitations, sur la base du Règlement Général des Industries Extractives (RGIE) qui fixe les émergences sonores admissibles vis-à-vis du personnel de chantier et du décret n°2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage, le maître d'ouvrage doit intégrer la contrainte sonore dans le cahier des charges établi pour la réalisation des travaux. Elle constituera un véritable critère de choix lors de la phase de consultation des entreprises de forage.

Pour ce qui concerne le recensement des impacts des travaux, on identifie durant la période de chantier :

- L'impact visuel sera surtout le fait du mât de forage qui aura une hauteur maximale de 40 mètres environ. Une clôture provisoire atténuera l'impact visuel lié à la présence d'engins et de machine de forages sur le chantier vis-à-vis des piétons et passants.
- Pour ce qui concerne l'environnement sonore, sans toutefois préjuger des effets de site (topographie, conditions météorologiques...), les niveaux sonores, aux abords des chantiers, sont compris entre 59 et 67 dB(A).
- Afin de limiter l'impact sonore du chantier la nuit, les activités les plus génératrices de nuisances sonores seront réalisées uniquement le jour dans la mesure du possible. La principale gêne devrait être liée, le jour comme la nuit, aux chocs des tiges métalliques et au bip de recul des engins de chantier.
- Concernant la circulation routière, le maître d'ouvrage mettra en œuvre des mesures organisationnelles visant à réduire l'impact des travaux au voisinage du site. Une circulation moyenne de 4 camions par jour au cours des 58 jours de chantier de forage est estimée. Les phases d'installation et de repli du chantier, de livraison des tubages, d'évacuation des déblais, de tubage des puits, de cimentation et de diagraphie des puits auront une circulation moyenne de 7 camions par jour.
- Le périmètre des travaux, les cheminements piétons, les accès pour les véhicules légers seront entièrement sécurisés. L'accès au chantier sera interdit au public et les entreprises déclareront leurs travaux et établiront un Plan Particulier de Sécurité, de Prévention et de Santé (P.P.S.P.S).
- Pour ce qui concerne les sols et les eaux de surface, seront mis en place une surface en béton et enrobé imperméable ainsi que des bassins de stockage temporaire des effluents. Les eaux de ruissellement seront collectées par des caniveaux et conduites vers un bassin de décantation. Les sols seront protégés durant les travaux par cette semelle en béton et enrobé imperméable.
- Le risque concernant le sous-sol est la possible contamination d'un aquifère par de l'eau géothermale. Les mesures prévues pour supprimer, réduire ou éviter la survenue d'un tel accident interviennent à trois niveaux : à la conception de l'ouvrage, lors de la réalisation de l'ouvrage, en cours d'exploitation et lors des contrôles périodiques dits réglementaires.

Les déchets et effluents produits pendant les travaux sont de plusieurs types : résidus de boue, cuttings, déchets industriels banals, déchets ménagers, déchets spéciaux, eaux géothermale et de

ruissellement. Le traitement de chaque catégorie de déchets se fera dans le respect de l'environnement et des règles en vigueur afin de supprimer tout impact nuisible du chantier.

Compte tenu des éléments précités, du contexte environnemental et de la distance entre le chantier et les espaces naturels protégés (ZNIEFF, Natura 2000 etc..), il apparaît qu'il n'y aura pas d'impact des travaux sur ces espaces naturels. Concernant les nuisances sonores et le risque de dérangement pendant les périodes de nidification ou de migration de certaines espèces, il peut être envisagé que le site ne sera pas une zone favorable à la nidation notamment en raison d'un environnement urbain à fortes activités (chantier du tramway, aménagement de la ZAC et avenues bordant le chantier).

A l'intérieur de l'enveloppe des coûts de travaux et d'exploitation, le Maître d'Ouvrage mettra en œuvre les mesures techniques et organisationnelles visant à réduire ou à supprimer l'impact des travaux de forage ou de l'exploitation au voisinage du site. De plus, le Maître d'Ouvrage mettra également en œuvre des mesures compensatoires visant à réduire ou à supprimer l'impact de l'exploitation de la boucle géothermale (Cf. paragraphe 4.5).

Pour ce qui concerne l'évaluation des effets permanents engendrés par le projet d'exploitation du gîte géothermique :

- L'exploitation de la ressource en eau profonde en circuit fermé, se fera sans nuisance sonore, sans nuisance sur les eaux superficielles et souterraines.
- Compte tenu de la distance entre l'exploitation et les sites Natura 2000 ou ZNIEFF, il apparaît que l'exploitation du gîte géothermal sera sans impact sur ces sites naturels protégés.
- Les installations géothermales étant souterraines, elles ne seront pas visibles depuis l'extérieur de la centrale.
- Les opérations de maintenance n'engendreront pas ou peu d'impact sur la circulation routière.
- L'infiltration des eaux de pluie à la parcelle sera compensée après la réalisation et la construction de la ZAC grâce à l'aménagement d'une zone humide de compensation et un bassin de rétention des eaux de pluies.

Les aspects relatifs à la sécurité et à la santé pour la période des travaux, puis pour la période d'exploitation du gîte géothermal sont traités dans le **Chapitre 6**. Le maître d'ouvrage élaborera un Plan Global de Coordination (PGC) pour la période des travaux, puis un Plan de Prévention (PP) spécifique à la phase d'exploitation. Ces documents fixeront les principes et l'organisation relative à la sécurité et à la santé conformément au Code Minier, au Code du Travail, au Code de l'Environnement.

Le maître d'ouvrage prendra toutes les dispositions nécessaires pour organiser la mission de coordination de la sécurité et de la santé sur le site. Chacune des entreprises intervenantes constituera un Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS) en accord avec le PGC pendant la phase de travaux. En phase d'exploitation, l'intervention d'une seule entreprise sera soumise à un PP sous la responsabilité du chef de site.

Les travaux de forage sont soumis au Règlement Général des Industries Extractives (RGIE), au décret n°2016-1303 du 4 octobre 2016 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).

Les aspects de la protection du public durant le chantier seront abordés dans ce chapitre de par l'accès au public, la circulation des véhicules, les infrastructures et le bruit sur chantier, le stockage de produits divers et la production d'eau ou de gaz géothermaux. Les consignes de sécurité

habituelles ainsi que les consignes spécifiques aux types de risques inhérents aux chantiers de forage de puits géothermiques seront respectées dans le cadre de la protection du personnel de chantier.

Des mesures de sécurité seront prises en cas de fuites liées au percement des tubages en exploitation ou en cas de fuites sur les installations en surface de la boucle géothermale.

DEMANDE D'AUTORISATION D'OUVERTURE DE TRAVAUX DE FORAGE



3 DEMANDE D'AUTORISATION D'OUVERTURE DE TRAVAUX DE FORAGE

3.1 Mémoire exposant les caractéristiques principales des travaux prévus

Ce chapitre est consacré à la présentation du programme technique de réalisation des deux forages du doublet de Chatenay-Malabry.

3.1.1 Fiche résumé des travaux prévus

Localisation du site d'implantation :

- Département : Hauts de Seine (92)
- Commune : Chatenay-Malabry
- Adresse : ZAC La Vallée
- Objectif : réalisation d'un puit géothermique de réinjection et d'un puit de production
- Maître d'Ouvrage : Flowergy Chatenay-Malabry
- Classification : Forage visant un gîte géothermique
- Aquifère cible / ressource sollicitée : Calcaires Oolithiques du Lusitanien avec repli potentiel au Néocomien
- Type d'ouvrages : Vertical, dévié, orientés
- Profondeur finale : 1410 m verticaux / 1410m forés (P) et 1710 m forés (I). La profondeur finale pourra être inférieure ou supérieure en fonction des résultats observés. Dans le cas d'un repli au Néocomien, la profondeur finale sera 900 m verticaux pour le puits producteur et le puit injecteur
- Date prévisionnelle de début des travaux de forage: septembre 2020 pour les avant-puits après la notification des autorisations administratives.
- Durée prévisionnelle des travaux de forage : 10 à 11 semaines
- Durée prévisionnelle des travaux sur site : environ 1 an pour la réalisation des plates-formes, nouveaux forages et la remise en état.

3.1.2 Implantation du forage

Les parcelles n°124, 127, 133 et 51 permettront d'accueillir le chantier de forage et les annexes de chantier.

Ce site est présenté dans le tableau et sur les figures suivantes qui précisent l'aire de chantier et l'implantation prévisionnelle des chantiers de forage. L'implantation de l'air de stockage peut être soumise à modification d'ici le début des travaux, elle est reportée ici à titre indicatif.

La desserte du site d'implantation est facilitée par un réseau routier particulièrement dense avec notamment l'avenue de la Division Général Leclerc, l'avenue de Sully Prudhomme et l'avenue Grande et des Vignes. Une convention d'accès et de voirie seront à prévoir auprès des services techniques de la Ville.

La description précise du site et de son accessibilité sont reportés dans le Chapitre 4.

Caractéristiques	Site de la ZAC la Vallée
Coordonnées en Lambert 93	Injecteur : X =647 825 et Y= 6 852 001 Producteur : X=647 517 et Y= 6 851 738
Commune d'implantation	Chatenay-Malabry
Propriété	SEMOP
Accès à la chaufferie	Inexistante
Occupation actuelle	Parcelles en cours de terrassement et d'aménagement VRD
Niveau	Terrain avec peu de dénivelé
Aire	3000 m ² pour chaque plateforme + 500 m ² de zone de stockage pour chaque
Contraintes	Chantier en cours sur la ZAC et habitations autour de la ZAC

Tableau 26 : Caractéristiques des parcelles susceptibles d'accueillir le site de forage

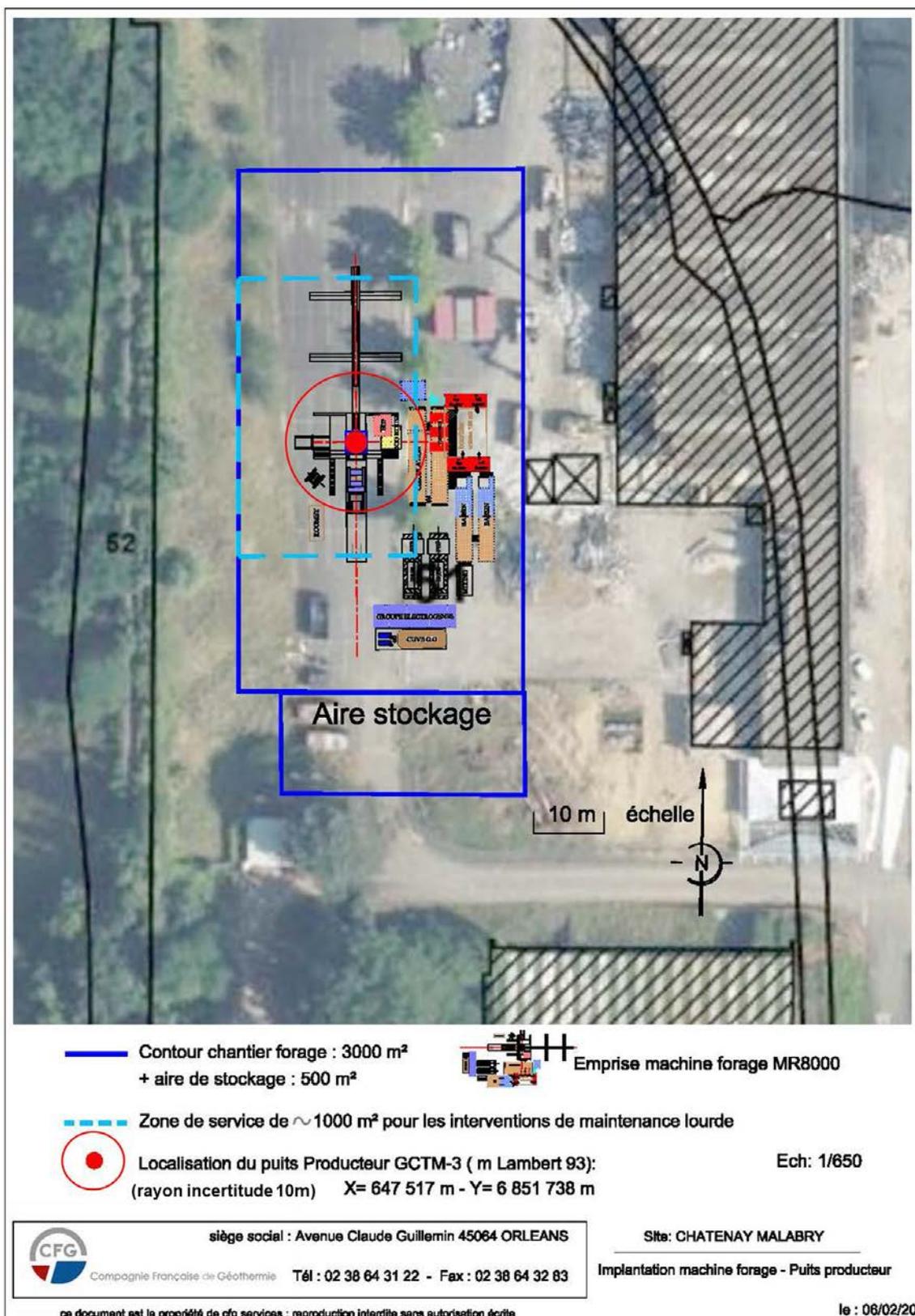


Figure 72 : Implantation de la machine de forage et de ses annexes pour le forage de production ainsi que la zone de sécurité pour le servicing du puits

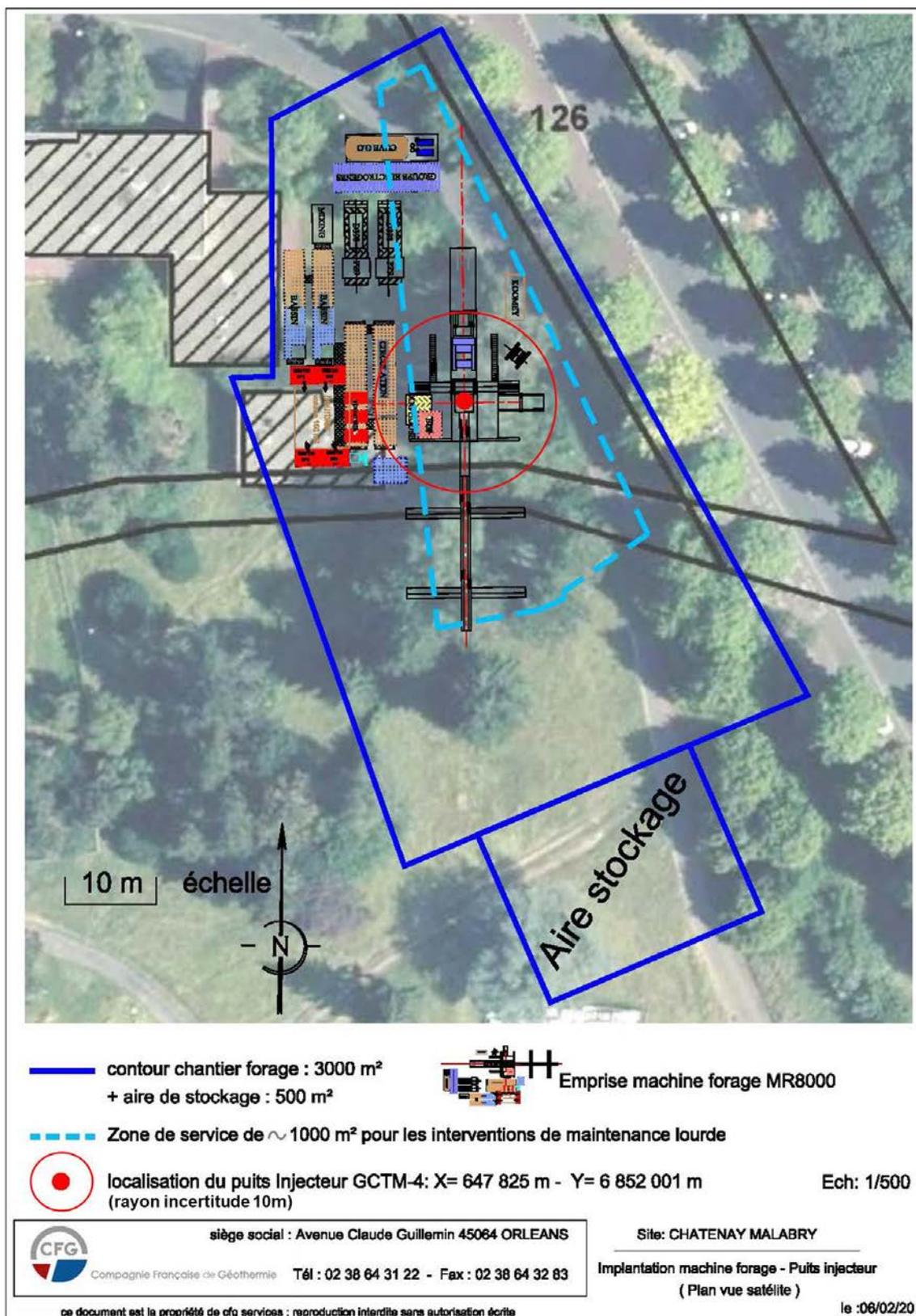


Figure 73 : Implantation de la machine de forage et de ses annexes pour le forage d'injection ainsi que la zone de sécurité pour le servicing du puits

3.1.3 Travaux d'aménagement pour la réalisation des puits

3.1.3.1 Aménagement nécessaire pour le forage des puits

L'aire de chantier en configuration de forage comporte :

- une aire empierrée et compactée idéale de 3 000 m² complétée d'une aire de stockage de 500 m². L'empierrement et le compactage sont réalisés de manière à permettre, à la mise en place et au démontage, le passage des camions et engins de manutention et de transport des équipements, et en cours de travaux aux engins de manutentions des consommables, des matériels tubulaires ainsi qu'aux camions d'évacuation de déblais, camions de diagraphies, etc. Cette aire est donc 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 le bournier par l'intermédiaire d'un bac déshuileur qui piège les effluents polluants ;
- des bassins étanches ou bourniers 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 ;
- un corral maçonné* sous les vibrateurs de l'appareil de forage.
- Un réseau de caniveaux/drains ceinturant l'aire de chantier pour collecter les eaux de ruissellement et les diriger vers un déshuileur qui permettra de séparer les produits huileux/solides et d'envoyer l'eau ainsi séparée vers un bassin de décantation puis le réseau d'eau pluviale. A défaut ou si contaminées, les eaux de pluies seront évacuées par citernage vers un centre de traitement spécialisé.

Ces ouvrages sont destinés à être détruits à l'issue des travaux de forage.

A l'issue des travaux de forage, resteront à demeure sur le site :

- une dalle en béton armé d'épaisseur 0,30 m destinée à accueillir la sous-structure de la machine de forage le cas échéant. Les dimensions finales de la dalle dépendent à la fois de l'appareil de forage utilisé et de la configuration finale de la zone après travaux. En cas de nécessité, cette dalle peut être démantelée à l'issue des travaux (surcoût) ;
- une zone d'environ 1 000 m², libre de toute plantation ou construction pérenne pour l'exploitation.
- pour chaque puits, une cave en béton armé au centre de laquelle est positionné le puits avec son empilage de vannes de sécurité et adaptateurs. La profondeur des caves est adaptée à l'utilisation ultérieure des puits, la largeur et la longueur étant liées aux dimensions de la sous-structure de l'appareil de forage (voir Figure 74).

**Corral maçonné : bassin maçonné, semblable à une piscine en béton*

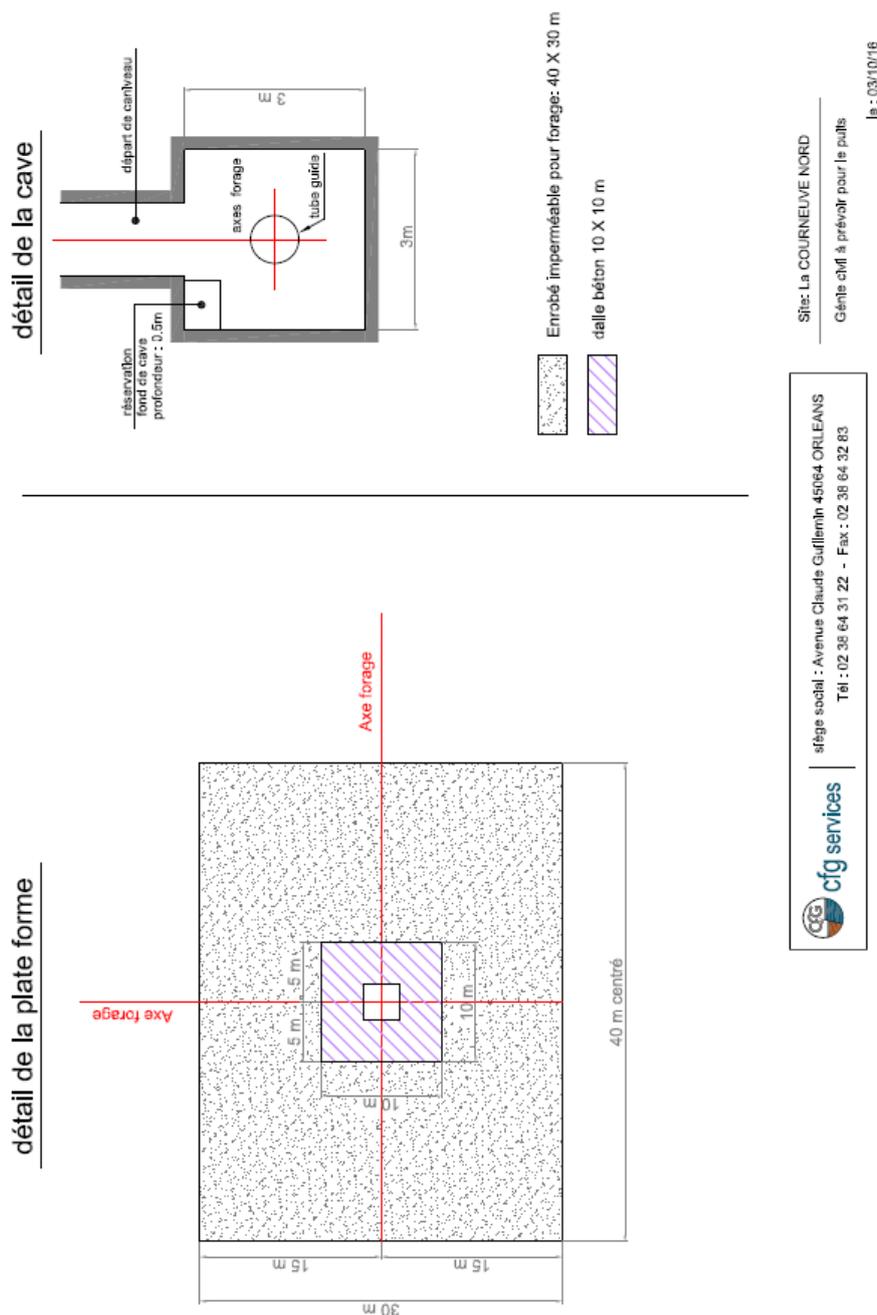


Figure 74 : Plan de génie civil type (exemple de La Courneuve Nord)

3.1.3.2 Dispositions à prendre avant le forage des puits

Les besoins à prévoir en amont des travaux de forage sont les suivants :

- Alimentation en eau de ville de $60 \text{ m}^3/\text{h}$;
- Raccordement au réseau d'eaux usées pour la base vie ou mise en place d'une fosse septique (coût de vidange à charge du Maître d'ouvrage pendant les travaux) ;
- Une convention de rejet avec le gestionnaire du réseau d'assainissement pour évacuer les eaux géothermales pendant la phase de test de puits et les eaux de pluie. Cette convention de rejet sera signée avec le gestionnaire du réseau, qui définira les conditions de rejet dans le réseau ($T^\circ\text{C}$, pH, débit), et la liste des analyses chimiques qui seront réalisées sur les eaux de rejet. A défaut de

convention avec le gestionnaire du réseau, les eaux géothermales seront stockées dans les bacs de la machine de forage, le corral maçonné ou le borbier puis réinjecté dans le puits à la fin des essais de forage. Les eaux de pluies si contaminées seront évacuées par citernage vers un centre de traitement spécialisé.

- Voirie lourde au niveau des accès et de la plate-forme et accès pour convoi exceptionnel et véhicules surbaissés ;
- La consommation énergétique de la machine de forage (RIG en anglais) serait :
 - Cas de l'alimentation du RIG par des génératrices au fioul: Consommation en GNR : 3000 litres environ par jour.
 - Cas de l'alimentation du RIG par de l'électricité du réseau : Puissance électrique d'un Rig : 500 kVA pour une machine de 100 tonnes minimum.
- Volume sortant : Déblais de forage (Cuttings) d'environ $1\,200\text{ m}^3 + 100\text{ m}^3$ divers (palettes, emballages produits boue...) par puits.

Des Groupes Electrogènes en secours doivent nécessairement être prévus sur le chantier de forage. Néanmoins le choix du type d'alimentation (GNR ou électrique) de la machine de forage dépendra de la puissance électrique du réseau électrique existant et de sa fiabilité pendant toute la durée du chantier. Toutes les machines de forage ne sont pas compatibles avec une alimentation électrique ; besoin d'une alimentation centralisée des différents éléments du RIG, puissance/tension requise différente selon les modèles de machine...Le choix de la consommation énergétique de la machine d'un point de vue technique et économique pourra être étudiée lors du choix des entreprises de forage.

Des aménagements peuvent être apportés, notamment pour la position du ou des bassins étanches et borbiers autour de la machine de forage.

Le degré de liberté est moindre pour l'implantation du puits et donc de la position de la dalle bétonnée sur la plate-forme. Cette position est imposée par l'espace nécessaire pour la mise en place des équipements. Par exemple, le mât de forage est assemblé à terre, ce qui nécessite un espace suffisant dans l'axe de la dalle.

3.1.3.3 Séparation des eaux usées et des eaux pluviales sur le chantier

Le réseau d'assainissement de Chatenay-Malabry est de type séparatif et collecte ainsi séparément les eaux usées des eaux pluviales. Les eaux usées et pluviales du chantier seront donc aussi collectées par des moyens séparés sur le chantier.

Dans le cadre du chantier, et pour satisfaire aux définitions du règlement du système d'assainissement de la commune et de son concessionnaire, les eaux géothermales et la phase liquide des boues de forage sont considérées comme des eaux usées, les eaux de ruissellement comme les eaux pluviales.

Pour la gestion des eaux pluviales, l'emprise du chantier sera ceinturée par un dispositif (drains, caniveaux, merlon ou fossé périphérique ceinturant la semelle en béton de la plateforme de forage) qui collectera les eaux de ruissellement. La totalité de ces eaux sera dirigée vers le bassin de décantation via un déshuileur / débourbeur qui assurera la séparation des produits solides et huileux qui auraient pu fuir des organes moteurs de l'appareil de forage. Le compartiment recueillant le surnageant huileux sera pompé à chaque fois que nécessaire et le contenu sera dirigé vers un centre de destruction. L'eau de ruissellement séparée sera dirigée vers le réseau d'eau pluviale soit par déversement naturel (gravité) si le système de collecte des eaux de pluie le permet, soit par pompage à partir du déshuileur / débourbeur. En cas de contamination des eaux pluviales ou en cas de non autorisation du concessionnaire des réseaux d'assainissement, celles-ci seront dirigées vers le borbier recueillant la phase liquide provenant de la déshydratation des boues puis évacuées en centre de retraitement spécialisé.

Pour la gestion des eaux géothermales pendant la phase chantier, celles-ci proviendront des essais de puits réalisés en fin de forage sur 5 jours environ. Ces eaux seront dirigées vers des bassins étanches via un dispositif de déversoir installé au bout de la ligne de test branchée à la tête de puits. Les eaux géothermales seront refroidies via une tour réfrigérante avant d'être dirigées vers le réseau d'eau usées, une fois que leurs caractéristiques seront en accord avec les conditions de rejet définies dans la convention avec le concessionnaire du réseau d'assainissement.

En fin de forage, lorsque les boues de forage ne seront plus utilisées, la phase liquide sera recueillie après centrifugation et coagulation des boues. Cette phase liquide sera dirigée vers un bournier et sera, soit mise en citerne puis envoyée dans un centre de traitement, soit évacuée dans le réseau d'assainissement (conformément à la réglementation en vigueur et aux termes de la convention de rejet qui en gèrera, le cas échéant, les modalités).

3.1.4 Travaux de forage

3.1.4.1 Introduction

Les contraintes techniques de mobilisation de la ressource sont liées à la profondeur de l'ouvrage qui nécessite la mise en œuvre d'une machine de forage suffisamment puissante.

3.1.4.2 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 (Cf. Figure 75), avec les mentions :

- nature et description des travaux ;
- maître d'ouvrage, assistant au maître d'ouvrage et maître d'œuvre ;
- organismes apportant des subventions ;
- entreprises intervenantes.

Un balisage sera mis en place pour interdire l'accès aux personnes non autorisées. Il sera équipé, à chaque accès, de panneaux « chantier interdit au public » et « port obligatoire des équipements de protection individuelle ».

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.



Figure 75 : Exemples d'un panneau d'information d'un chantier

3.1.4.3 Profils des puits et coupes géologiques et techniques prévisionnelles

Pour rappel, la coupe géologique au niveau du secteur d'étude est présentée précédemment au Tableau 11 et les coupes techniques des futur puits présentées au Chapitre 2.9.2.

3.1.4.4 Programme de forage du puits producteur GCTM-3

✓ Avant puits

Un tube guide d'un diamètre intérieur minimal de 762 mm sera mis en place à une profondeur d'environ 40 m, au moment de la réalisation du génie civil de la plateforme, et en tout état de cause avant la mise en place de l'atelier de forage.

Ce tubage a pour objet la couverture des formations non consolidées de surface.

✓ Phase de forage 24" (40 m – 400 m forés environ)

Cette phase a pour objet de couvrir les formations tertiaires, de manière à en isoler les aquifères exploités dans les environs du site pour l'alimentation en eau potable.

Cette phase comporte :

- le forage en diamètre 24" (610 mm) jusqu'à pénétration dans la craie du Sénonien de 270 mètres ;
- la mise en place dans le trou d'un tubage en acier au carbone (nuance API K55 ou équivalent), de diamètre extérieur 18^{5/8} (473 mm) et d'épaisseur minimale de 11,1 mm ;
- la cimentation à l'extrados de ce tubage sur toute sa hauteur par injection sous pression d'un laitier de ciment (cimentation par innerstring).

✓ Phase de forage 12^{1/4}" (400 m – 1250 m forés environ)

Cette phase permet de tuber complètement et d'assurer la protection de l'aquifère stratégique de l'Albo-Aptien.

Cette phase comporte :

- le forage en diamètre 12^{1/4}" (311 mm) jusqu'à environ 1250 mètres au toit du Séquanien (profondeur verticale),
- la réalisation de diagraphies différées (Gammap-Ray, Caliper et contrôle de la cimentation du tubage 18^{5/8}) ;
- la mise en place dans le trou d'un tubage en composite (type GRE), de diamètre mixte extérieur 7^{5/8} x 13^{3/8} (193,7 et 339,7 mm) entre 1250 et 400 m pour le 7^{5/8} et entre 400 et 350 m pour le 13^{3/8} ;
- la cimentation à l'extrados de ce tubage mixte sur toute sa hauteur par injection sous pression d'un laitier de ciment.

✓ Phase de forage 6" (1250 m – 1410 m forés environ)

Cette phase comprend le forage de l'aquifère cible et sa mise en production :

- le moto-forage en diamètre 6" (152 mm) jusqu'à environ 1 410 mètres forées au toit de l'Argovien;
- l'enregistrement des diagraphies différées du réservoir (Gammap-Ray, Neutron porosité, Caliper 4 bras) ;
- Test en production du réservoir (dégorgement, acidification et essai longue durée) et prise de décision sur le succès de l'exploration au Lusitanien.

- Si le succès du Lusitanien est constaté par les essais de fin de forage, la dernière partie du tubage composite en 13^{3/8} sera descendu de 0 à 350 m, puis cimenté à l'aide d'une cloche de recouvrement et un système de packer avec orifice de cimentation ;
- la réalisation de diagraphies différées acoustique de contrôle de cimentation des tubages composite 7^{5/8} x 13^{3/8} (de type UBI).

3.1.4.5 Programme de forage du puits injecteur GCTM-4

Avant puits

Un tube guide d'un diamètre intérieur minimal de 762 mm sera mis en place à une profondeur d'environ 40 m, au moment de la réalisation du génie civil de la plateforme, et en tout état de cause avant la mise en place de l'atelier de forage.

Ce tubage a pour objet la couverture des formations non consolidées de surface.

✓ Phase de forage 17^{1/2} (40 m – 280 m forés environ)

Cette phase a pour objet de couvrir les formations tertiaires, de manière à en isoler les aquifères exploités dans les environs.

Cette phase comporte :

- le forage en diamètre 17^{1/2} (444,5 mm) jusqu'à environ 280 mètres (profondeur verticale) jusqu'à pénétration dans la craie du Sénonien de 150 mètres;
- la mise en place dans le trou d'un tubage en acier au carbone (nuance API K55 ou équivalent), de diamètre extérieur 13^{3/8} (339,7 mm) et d'épaisseur minimale de 10,92 mm entre la surface et 280 m de profondeur;
- la cimentation à l'extrados de ce tubage sur toute sa hauteur par injection sous pression d'un laitier de ciment.

✓ Phase de forage 12^{1/4} (280 m – 1490 m forés environ)

Cette phase permet de tuber complètement la phase de montée en inclinaison et d'assurer la protection de l'aquifère stratégique de l'Albo-Aptien. La séquence des opérations comporte :

- le forage en diamètre 12^{1/4} (311 mm) jusqu'à la fin du Kimméridgien, soit environ 1250 m verticaux (1490 m forés) ;
- à la cote de 300 m, l'amorce de la déviation au moteur de fond avec un gradient moyen d'augmentation de 1° tous les 10 mètres forés ;
- à partir de 900 m vertical environ jusqu'à pénétration de quelques mètres dans le Purbeckien, le forage est en déviation stabilisée (45°) afin d'atteindre le déplacement horizontal de 650 m au toit du Séquanien;
- la réalisation de diagraphies différées ;
- la mise en place dans le trou d'un tubage en acier au carbone de diamètre extérieur 9^{5/8} (244,5 mm) et d'épaisseur minimale 12 mm de la surface jusqu'au toit du Lusitanien;
- la cimentation à l'extrados de ce tubage sur toute sa hauteur par injection sous pression d'un laitier de ciment

✓ Phase de forage 8^{1/2} (1490 m – 1710 m forés environ)

Cette phase comprend le forage de l'aquifère cible et sa mise en production :

- le forage en diamètre 8^{1/2} (216 mm) en déviation stabilisée jusqu'à environ 1710 mètres ;
- l'enregistrement des diagraphies différées et la réalisation des essais de puits de fin de forage avec les acidifications du réservoir ;
- Descente du liner 7'' en composite non cimenté de la surface à 1 490 m forés.

3.1.4.6 Programme de boue, de cimentation et de diagraphies

Le programme complet est reporté dans le tableau suivant. Il synthétise les caractéristiques techniques des ouvrages ainsi que le programme de forage, boue et cimentation envisagé.

Ces programmes de forage tiennent compte du contenu des notes techniques du guide des bonnes pratiques d'exécution des forages géothermiques profonds de l'ADEME, notamment

- la note technique n°034 concernant le centrage des tubages ;
- les notes techniques n°041 et n°042 concernant la cimentation ;
- les notes techniques n°051 et n°052 liées à la déviation des ouvrages ;
- la note technique n°072 relative aux contrôles de cimentation soniques et ultrasoniques.

Pour des raisons évidentes de prévention des communications entre aquifères et d'intégrité de l'ouvrage, la conception des puits et les cimentations annulaires feront l'objet d'une attention particulière.

Le programme de cimentation des tubages prévoit l'utilisation de 3 types de laitier de ciment:

- un laitier de ciment « standard » de classe G;
- un laitier de ciment allégé à la pouzzolane (Pozzmix) ou bentonite ;
- un laitier de ciment allégé (Tuned Lite, Lite Crete).

Les laitiers sont utilisés de la façon suivante :

- le ciment allégé (préférence pour le ciment à la pouzzolane) pour le tubage 13^{3/8} et 18^{5/8} ;
- le ciment standard pour couvrir les aquifères stratégiques (Albien –Néocomien) jusqu'au toit des argiles du Gault et le ciment allégé au-dessus pour le tubage 7^{5/8} et 9^{5/8}.

Le contrôle de l'ensemble de ces cimentations sera réalisé par des méthodes de diagraphies conventionnelles (type CBL, URS – USIT, UBI).

Les aquifères traversés (Albien et Néocomien notamment) sont isolés du Lusitanien par un ou deux tubages concentriques. Pour le puits producteur, le tubage composite extérieur 7^{5/8} sera cimenté au terrain à l'aide d'un ciment standard et allégé. Pour le puits injecteur, le tubage acier extérieur 9^{5/8} sera cimenté au terrain à l'aide d'un ciment standard et allégé. Ensuite un tube composite non cimenté sera descendu afin d'isoler le fluide géothermal du tubage acier 9^{5/8}.

Forage	GCTM-3 (P)	GCTM-4 (I)
Longueur et poids tubages acier 18 ^{5/8}	400 m / 87,5 lb/ft	-
Longueur et poids tubages acier 13 ^{3/8}	-	280 m / 61 lb/ft
Longueur et poids tubages acier 9 ^{5/8}	-	1 490 m / 47 lb/ft
Longueur et poids tubages composite 13 ^{3/8} x 7 ^{5/8} ou 7"	1 250 m	1 490 m
Longueur forée totale	1 410 m	1 710 m
Densité ciment tubages 13 ^{3/8} et 18 ^{5/8}	Densité min 1,6	
Densité ciment tubages 7 ^{5/8} et 9 ^{5/8}	Densité min 1,2 (tête) et min 1,8 (queue)	
Boue phase forage 24" et 17 ^{1/2}	Boue bentonitique	
Boue phase forage 12 ^{1/4}	Boue aux polymères celluloseux biodégradables	
Boue phase forage 8 ^{1/2} et 6"	Boue aux polymères celluloseux biodégradables	

Tableau 27 : Caractéristiques du programme de forage/boue/cimentation

Le maître d'ouvrage, par le biais de son 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 (18^{5/8}, 13^{3/8}, 9^{5/8} et 7^{5/8}) 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" en complétant les contrôles de cimentation réalisés en différé à l'aide des outils dédiés.

3.1.4.7 Programme des essais de production

A la fin des opérations de forages, il est prévu de stimuler le réservoir par acidification.

En vue du caractère exploratoire du Lusitanien, trois acidifications minimum sont prévues dans un premier temps. Le nombre d'acidifications sera fonction de l'augmentation de la productivité du puits après chaque opération. Chaque opération d'acidification consistera à injecter, sous BOP, au niveau des couches productrices, un volume d'acide. Les quantités d'acides seraient également adaptées aux caractéristiques obtenues et aux gains attendus.

Après stimulation du puits, il sera procédé à la réalisation des essais de production qui permettront de caractériser la productivité des puits et les caractéristiques hydrodynamiques réelles du réservoir.

Un programme prévisionnel de stimulation chimique complémentaire pourra être élaboré et mis en œuvre si nécessaire. Ce programme consisterait à mettre en œuvre des formulations acides avec effet "retard" afin de toucher des portions de réservoir plus distales par rapport au proche puits et ainsi améliorer la perméabilité du réservoir.

3.1.4.8 Programme d'échantillonnage des déblais

Pendant le forage, des échantillons de terrain seront prélevés tous les 2,5 à 5 mètres, observés à la loupe binoculaire et décrits par le géologue qui établira la coupe lithologique des terrains traversés, selon une fréquence adaptée à l'avancement.

Au toit des formations « repère » pour les cotes d'arrêt, la fréquence sera accentuée à un échantillon par mètre foré. La partie réservoir (Séquanien et Rauracien) sera échantillonnée selon une fréquence qui ne pourra être inférieure à un échantillon tous les 2,5 mètres. La coupe géologique sera établie de la surface à la base du forage.

3.1.4.9 Durée prévisionnelle des travaux de forage

La durée d'un forage (hors travaux préparatoires de génie civil) est estimée à environ 29 jours par puits, sur la base d'un travail effectué en 3 postes par jour :

Producteur

- Phase 24" : 7 jours ;
- Phase 12"1/4 : 10 jours ;
- Phase 6" et essais : 9 jours ;
- Pose tubage et cimentation complémentaire (tie back) : 3 jours.

Injecteur

- Phase 17"1/2 : 6 jours ;
- Phase 12"1/4 : 10 jours ;
- Phase 8"1/2 et essais : 11 jours ;
- Pose liner composite : 2 jours.

L'occupation prévisionnelle de la parcelle dédiée aux futurs travaux de forage (hors travaux de dépollution, confortement des sols...) est estimée entre **100 et 137 jours pour le doublet hors travaux de surface** (Cf. Tableaux ci-dessous). Le temps de préparation des deux plateformes de forage (viabilisation, terrassement, génie-civil et réalisation caves, dalles et avant puits) est estimé à 120 jours.

Tâches	Durée (jours ouvrés)
Installation de la machine de forage	8 jours
Forage du puits producteur et essai	29 jours (ouvrables)
Ripage de la machine de forage	6 jours (ouvrables)
Forage du puits injecteur et essai	29 jours (ouvrables)
Repli appareil de forage	8 jours
Remise en état du site (hors point spécifique)	20 jours

Tableau 28 : Durée d'occupation prévisionnelle des sites dédiés aux travaux de forage au Lusitanien

Tâches	Durée (jours ouvrés)
Installation de la machine de forage	8 jours
Forage du puits d'exploratoire au Lusitanien (> échec)	26 jours (ouvrables)
Side track et forage du puits producteur et essai	36 jours (ouvrables)
Ripage de la machine de forage	6 jours (ouvrables)
Forage du puits injecteur et essai	33 jours (ouvrables)
Repli appareil de forage	8 jours
Remise en état du site (hors point spécifique)	20 jours

Tableau 29 : Durée d'occupation prévisionnelle des sites dédiés aux travaux de repli au Néocomien

3.1.4.10 Isolement des ouvrages par rapport à l'environnement

Les travaux de forage envisagés permettent d'isoler au maximum les puits de leur environnement immédiat notamment grâce :

- Au double cuvelage au niveau du puits de production et au triple cuvelage au niveau du puits de réinjection protégeant les aquifères du Tertiaire et de la Craie des interactions avec l'eau géothermale du Lusitanien. Ces aquifères font l'objet d'une surveillance particulière avec le SAGE de la nappe de Bièvre et de ses milieux aquatiques associés.
- Au double cuvelage au niveau du puits d'injection et d'un simple tubage au puits de production isolant les aquifères de l'Albien et du Néocomien protégés pour l'alimentation en eau potable.
- Au programme de cimentation qui permet de ne pas mettre en communication ces nappes aquifères cités ci-dessus.
- Au programme de gestion des eaux géothermales pendant la phase des essais en fin de travaux de forage qui prévoit le stockage de ces eaux dans des bassins étanches et leur traitement avant rejet dans le réseau d'eaux usées en respectant les conditions de rejet au réseau d'assainissement.
- Au programme de gestion des eaux pluviales qui permet de collecter les eaux de ruissellement autour de la zone imperméabilisées du chantier, de les traiter, les stocker puis les déverser dans le réseau d'eau pluvial en respectant les conditions de rejet au réseau d'assainissement.
- Au programme de gestion des boues de forage qui prévoit la séparation des solides au sortir du puits, le recyclage de la partie liquide séparée pour réutilisation pendant le forage du puits et le traitement de la boue en fin de forage pour évacuation des parties solides et liquides vers des centres de traitement spécialisés.

3.1.5 Remise en état du site

Après évacuation 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 selon les souhaits du maître d'ouvrage et les contraintes environnementales.

Ces travaux comprennent notamment :

- la démolition des dalles en béton et du bassin décanteur ; qui entraîne un surcoût qui permet néanmoins de réduire les effets d'imperméabilisation des sols
- l'évacuation des matériaux d'apport et de démolition ;
- le comblement des bourniers et du bac décanteur si besoin ;
- le démontage de la clôture si besoin la remise en forme identique à la topographie d'origine ;
- la remise en place des matériaux déplacés.
- La décompaction des sols sur la zone de maintenance prévue de 1 000 m², afin de réduire les effets d'imperméabilisation des sols. Seule une surface de quelques mètres autour de la cave de puits sera conservée au niveau du puits producteur afin de pouvoir aménager la ferme urbaine. Au niveau du puits producteur, la plateforme fera l'objet d'un aménagement en cohérence avec le projet de la ZAC.

3.1.6 Courbes caractéristiques prévisionnelles et dimensionnement des moyens de pompage

Dans le cadre de l'étude de faisabilité, ont été déterminées les courbes caractéristiques, la consommation électrique et le bilan énergétique de la boucle géothermale pour le doublet GCTM-3/GCTM-4 au Lusitanien.

Compte tenu de l'incertitude des paramètres hydrodynamiques du réservoir dans le secteur d'étude, les hypothèses prises en compte pour le dimensionnement des moyens de pompage du nouveau doublet sont les suivantes :

- mode d'exploitation par groupe de pompage immergé ;
- pour le puits producteur GCTM-3 et injecteur GCTM-4 :
 - L'indice de productivité et d'injectivité du réservoir est compris entre 10 m³/h/bar (hypothèse basse) et 30 m³/h/bar (hypothèse haute) ;
 - La température de production en tête de puits est estimée à 55°C ;
 - La pression artésienne est estimée à 5 bars à 55°C ;
 - La température de réinjection a été considérée à 20°C ;
 - La pression artésienne au puits de réinjection est estimée à 2,9 bars à 20°C.
- colonne d'exhaure d'une longueur de 300 mètres et d'un diamètre de 200 mm ;
- rendements et pression de régulation estimés.

Le dimensionnement définitif des équipements de surface dépend des résultats des essais de production/réinjection réalisés en fin de travaux de forage et des premières tendances qui seront observées à la mise en service du doublet.

3.1.6.1 Caractéristiques hydrauliques de production

Les courbes caractéristiques prévisionnelles du puits producteur sont présentées ci-dessous pour des tubages en composite en fonction d'une hypothèse basse et haute.

Le niveau dynamique prévisionnel du puits de production à 150 m³/h est compris entre :

- -120 mCe/sol dans le cas de l'hypothèse basse de productivité,
- -17 mCe/sol dans le cas de l'hypothèse haute de productivité.

Pour une hypothèse basse de l'indice de productivité, le niveau dynamique prévisionnel du puits de production à 150 m³/h est estimé à -120 mCe/sol. Le maintien d'une colonne d'eau d'environ 120 m au-dessus de l'aspiration de la pompe (maintien de la pression de point de bulle, NPSH, vortex et sécurité) conduit à implanter l'aspiration de l'hydraulique du groupe électro-pompe immergé (GEI) à environ 240 mètres de profondeur.

La marge de sécurité de 100 mètres environ reste suffisante pour anticiper une éventuelle dégradation de la caractéristique hydrodynamique de l'ouvrage producteur. Il est nécessaire de garder une marge de sécurité pour anticiper l'impact hydraulique de futures opérations voisines qui pourraient voir le jour à proximité du secteur d'étude. La profondeur de la chambre de pompage a été prise suffisante pour anticiper de mauvaises caractéristiques du réservoir.

Pour l'hypothèse haute de productivité, le maintien d'une colonne d'eau d'environ 120 m au-dessus de l'aspiration de la pompe conduit à implanter l'aspiration de l'hydraulique du GEI à environ 140 mètres de profondeur. La marge de sécurité de 210 mètres environ reste largement suffisante pour anticiper une éventuelle dégradation de la caractéristique hydrodynamique de l'ouvrage producteur.

La profondeur d'immersion finale de la pompe sera ajustée en fonction des résultats des essais de boucle prévus lors de sa mise en service.

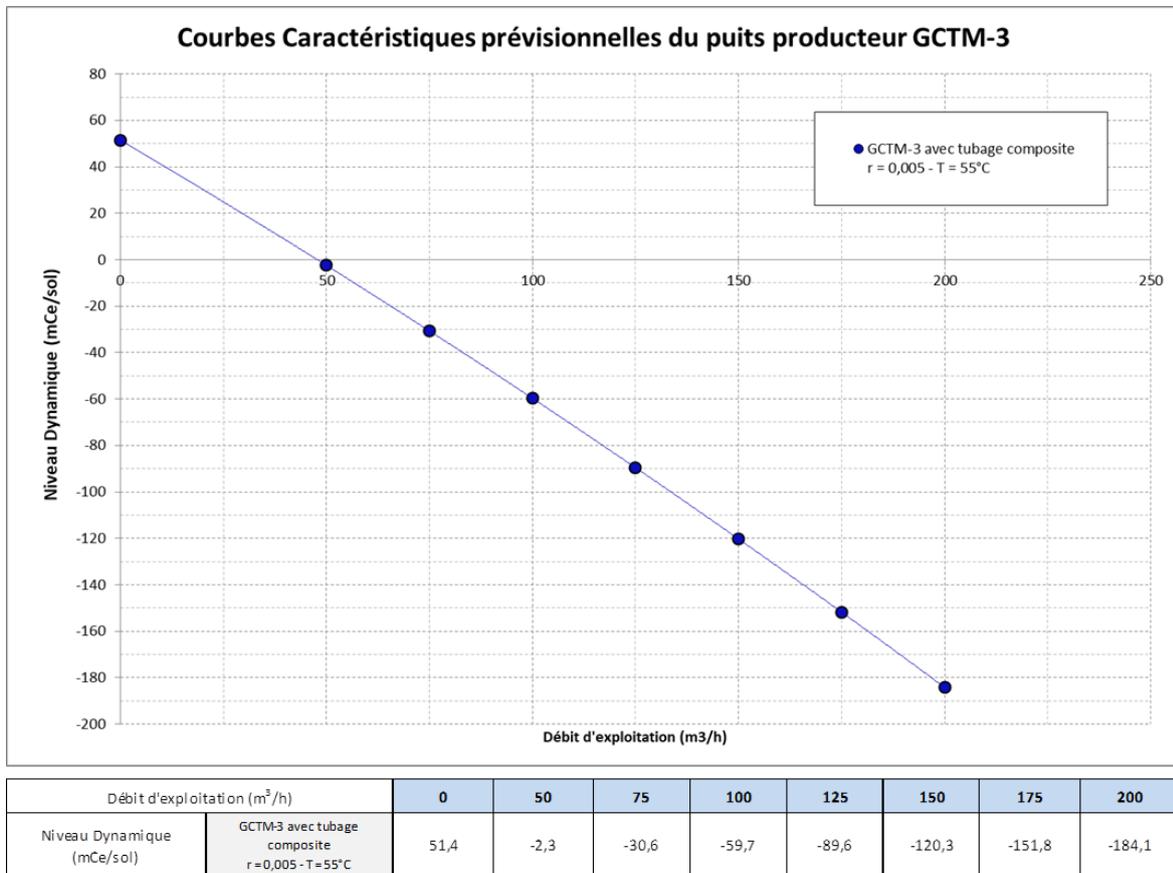


Figure 76 : Niveau hydrodynamique au puits producteur GCTM-3 – Hypothèse basse

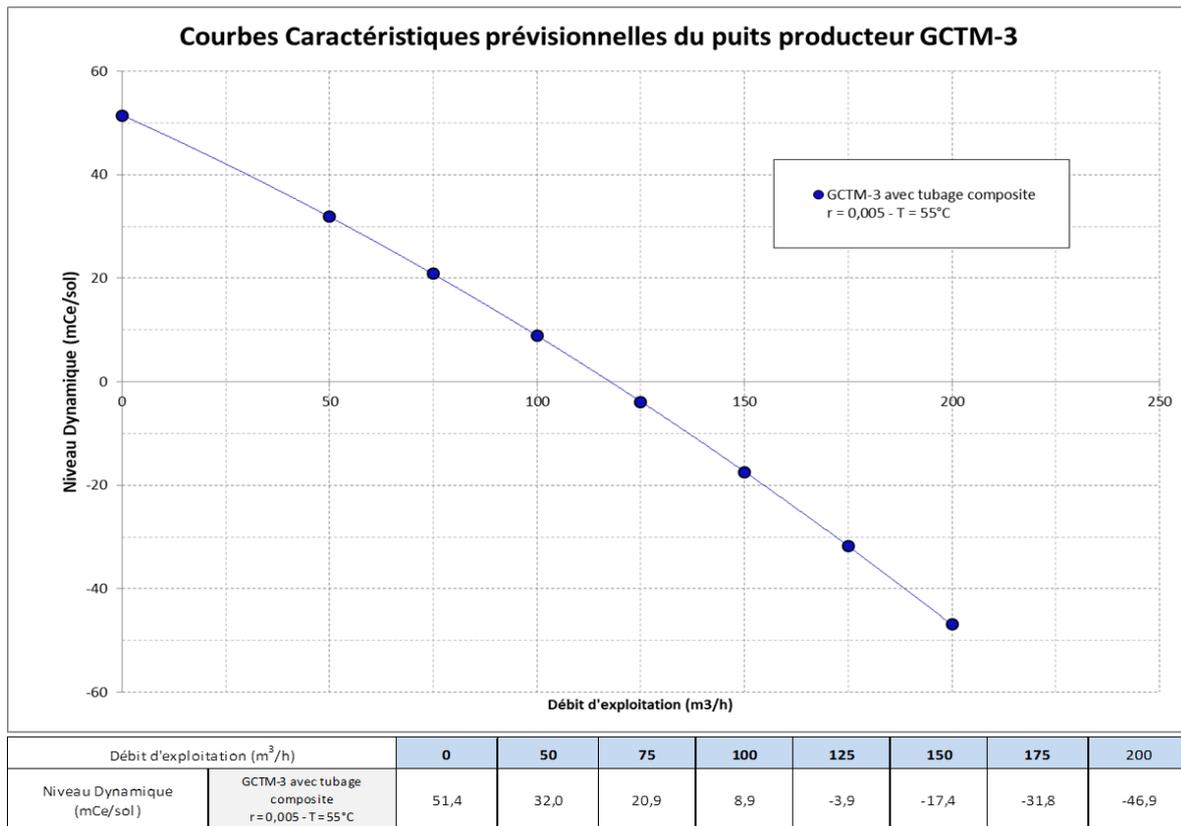


Figure 77 : Niveau hydrodynamique au puits producteur GCTM-3 – Hypothèse haute

3.1.6.2 Caractéristiques hydrauliques d'injection

L'injectivité dépend de la capacité du réservoir à absorber le débit (pertes de charge linéaires) injecté et des pertes de charge induites par les cuvelages (pertes de charge quadratiques).

La température de la colonne d'eau joue un rôle significatif dans le calcul des pressions d'injection en tête de puits, un abattement moyen de 0,06 bar par degré est adopté lors du refroidissement du fluide.

Toute valorisation thermique du fluide allant dans le sens de l'optimisation de la température de réinjection, minimise la consommation d'énergie nécessaire à la réinjection (l'effet de masse volumique dans le réservoir étant supérieur à l'effet de viscosité). Les calculs sont réalisés pour une température de réinjection minimale de 20°C.

Les figures ci-dessous montrent l'évolution de la pression d'injection en fonction du débit d'exploitation en hypothèses basse (Cf. Figure 78) et haute (Cf. Figure 79). La pression d'injection pour un débit d'exploitation de 150 m³/h est comprise entre :

- 21 bars dans le cas de l'hypothèse basse d'injectivité ;
- 11 bars dans le cas de l'hypothèse haute d'injectivité.

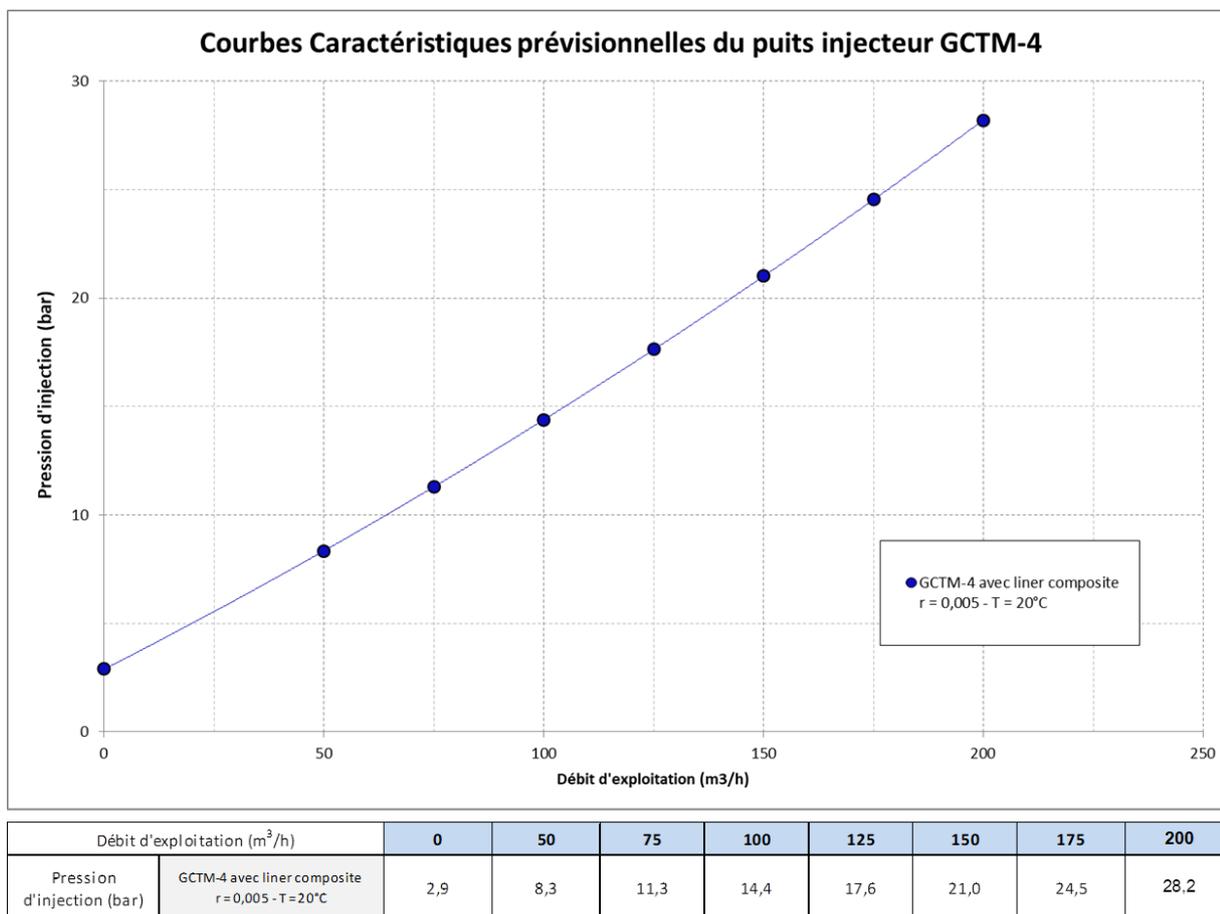


Figure 78 : Pression de réinjection au puits injecteur GCTM-4 - Hypothèse basse

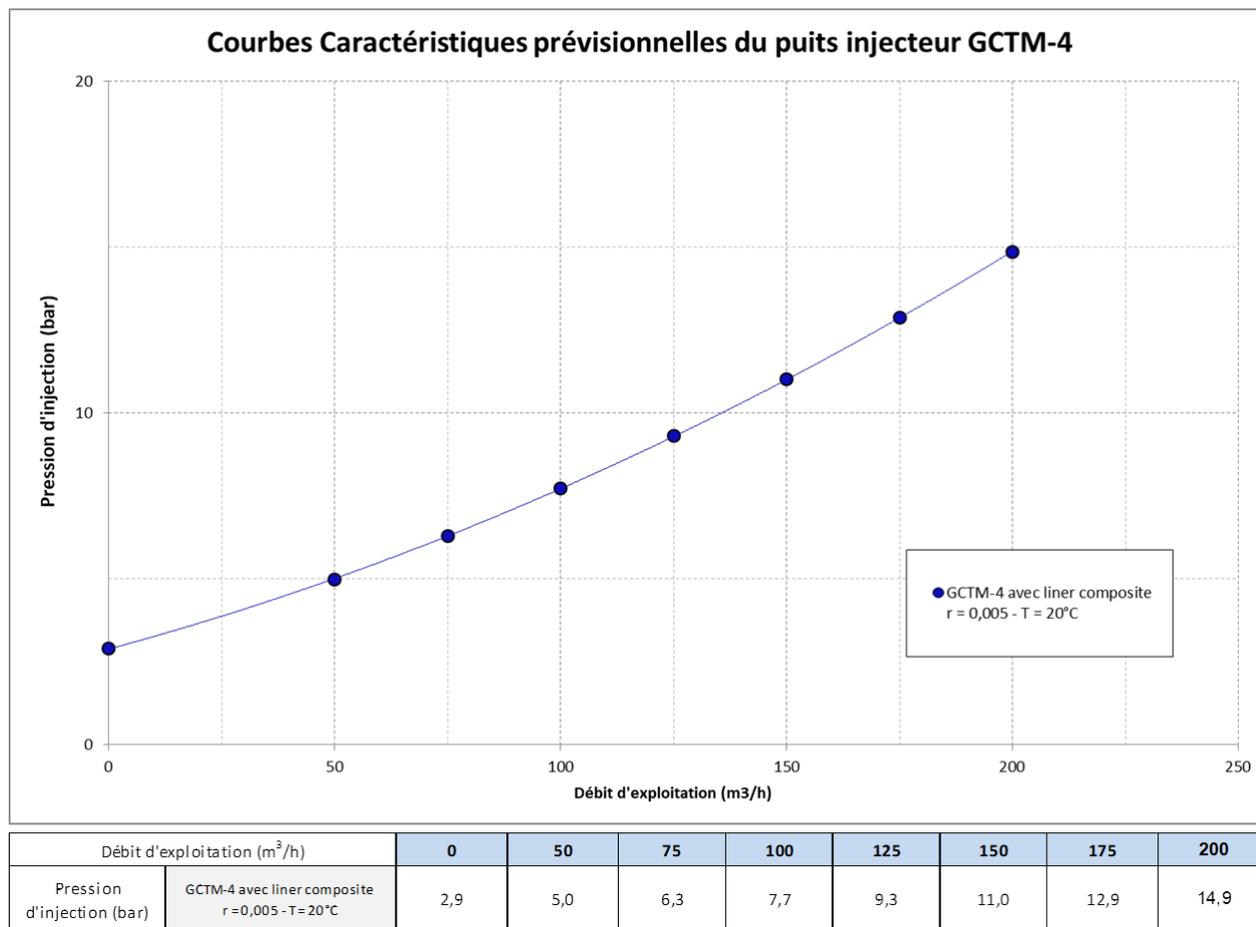


Figure 79 : Pression de réinjection au puits injecteur GCTM-4 - Hypothèse haute

3.1.6.3 Descriptif du système de pompage d'exhaure

L'exhaure du fluide géothermique, depuis le réservoir jusqu'à la surface, requiert l'utilisation d'équipements de pompage immergés. Ces équipements sont positionnés dans la chambre de pompage. Compte tenu des contraintes et des conditions de fonctionnement, les équipements de pompage immergés utilisés en géothermie pour l'eau du Dogger sont issus de la technologie pétrolière réputée robuste pour ce type d'application.

La puissance hydraulique de pompage et l'encombrement de la chambre de pompage impliquent l'utilisation d'un moteur spécifique et d'un câble électrique haute tension immergés. Afin de réduire les sections des équipements électriques immergés, il faut prévoir de fonctionner sous des tensions électriques d'environ 1 000 à 4 000 V entre 30 et 70 Hz en fonction de la puissance hydraulique demandée.

L'augmentation de la tension sera réalisée par un transformateur électrique élévateur placé en amont ou aval du variateur de fréquence.

3.1.6.4 Descriptif du système de pompage de réinjection

Les groupes de pompage d'injection habituellement utilisés en géothermie du Bassin Parisien sont de type centrifuge horizontale multi-étagée.

Un variateur électrique en surface alimente le moteur et régule sa vitesse afin de moduler l'injection d'eau géothermique en fonction des besoins thermiques du réseau de chaleur.

Les équipements de pompage nécessaires à l'injection du fluide géothermique sont les suivants :

- clapet anti-retour après le refoulement ;
- pompe (ou hydraulique) ;
- garniture mécanique (dispositif d'étanchéité pompe - moteur) ;
- moteur électrique ;
- câble électrique de surface ;
- variateur électrique de vitesse.

3.1.6.5 Estimation des puissances électriques actives totales et des consommations électriques annuelles

La consommation d'énergie électrique de pompage est essentiellement fonction du débit géothermal et de la hauteur manométrique que devra développer l'hydraulique de pompage pour extraire l'eau.

Les rendements et les pertes de charge des équipements du système de pompage ont également une influence sur la consommation d'énergie électrique.

Les équipements de pompage assurant la réinjection présenteront des caractéristiques de puissance hydraulique moindres que celles du groupe de pompage d'exhaure. En effet, la puissance électrique d'injection sera moindre compte-tenu des deux facteurs suivants :

- les rendements des équipements de pompage de surface sont meilleurs que ceux des équipements de pompage immergés ;
- les pertes de charges du circuit de réinjection sont faibles en comparaison des pertes de charges du circuit d'exhaure.

Les bilans de fonctionnement annuel du doublet simulés dans les tableaux ci-dessous, sont basés sur un fonctionnement théorique de 365 jours dans l'année et des débits volumiques et des productions de quantité de chaleur prévisionnels (Cf. Tableaux ci-après).

Les puissances totales des systèmes de pompage de production et d'injection, pour un débit géothermal de 150 m³/h, seront comprises entre 128 kW et 316 kW.

Le COP moyen annuel de la boucle géothermale est estimé :

- à 18 pour le doublet géothermique selon l'hypothèse basse ;
- à 48 pour le doublet géothermique selon l'hypothèse haute.

Pour une énergie prélevée annuellement sur la ressource d'environ 39 378 MWh, la consommation électrique annuelle des pompes d'exhaure et d'injection est évaluée :

- à 2 143 MWh environ pour une hypothèse basse de productivité/injectivité du réservoir ;
- à 829 MWh environ pour une hypothèse haute de productivité/injectivité du réservoir.

L'aléa géologique est faible et le couple débit/température le plus optimiste attendu (150 m³/h, 55°C / 20 °C) détermine une puissance thermique maximale d'environ 6,1 MW. Il conviendra de veiller à avoir des retours réseau les plus bas possibles afin de valoriser la ressource et d'améliorer le rendement de l'installation. L'exploitant optimisera ainsi le rendement de son installation en fonction des saisons et des besoins du réseau.

Bilan annuel prévisionnel de la boucle géothermale au Lusitanien à Chatenay-Malabry- hypothèse basse de productivité/injectivité														Moyenne	Total
Paramètres	Unités	Année civile													
Mois	-	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc		
Données Générales															
Nombre d'heure de fonctionnement	h	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	-	8 760
Débit moyen de la géothermie	m3/h	150	150	150	125	125	75	75	75	125	150	150	150	125	-
Volume extrait de l'aquifère	m3	111 600	100 800	111 600	90 000	93 000	54 000	55 800	55 800	90 000	111 600	108 000	111 600	-	1 093 800
Pompages d'exhaure et d'injection															
Puissance électrique d'exhaure moyenne	kW	158	158	158	119	119	56	56	56	119	158	158	158	123	-
Puissance électrique d'injection moyenne	kW	158	158	158	119	119	53	53	53	119	158	158	158	122	-
Consommation électrique exhaure	MWh	118	106	118	86	89	40	42	42	86	118	114	118	-	1 076
Consommation électrique injection	MWh	117	106	117	86	88	38	40	40	86	117	114	117	-	1 067
Température exhaure	°C	55	55	55	54	54	53	53	53	54	55	55	55	54	-
Température injection	°C	20	20	20	25	25	35	35	35	25	20	20	20	25	-
Valorisation de la ressource															
Puissance thermique	kW	6 111	6 111	6 111	4 220	4 220	1 571	1 571	1 571	4 220	6 111	6 111	6 111	4 503	-
Energie thermique prélevée sur la ressource	MWh	4 547	4 107	4 547	3 038	3 139	1 131	1 169	1 169	3 038	4 547	4 400	4 547	-	39 378
COP géothermie	-	19	19	19	18	18	14	14	14	18	19	19	19	18	-
Energie spécifique thermique	kWh/m3	40,7	40,7	40,7	33,8	33,8	21,0	21,0	21,0	33,8	40,7	40,7	40,7	-	-
Energie spécifique électrique	kWh élec/m3	2,1	2,1	2,1	1,9	1,9	1,5	1,5	1,5	1,9	2,1	2,1	2,1	-	-
Bilan annuel prévisionnel de la boucle géothermale au Lusitanien à Chatenay-Malabry- hypothèse haute de productivité/injectivité															
Paramètres	Unités	Année civile												Moyenne	Total
Mois	-	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc		
Données Générales															
Nombre d'heure de fonctionnement	h	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	-	8 760
Débit moyen de la géothermie	m3/h	150	150	150	125	125	75	75	75	125	150	150	150	125	-
Volume extrait de l'aquifère	m3	111 600	100 800	111 600	90 000	93 000	54 000	55 800	55 800	90 000	111 600	108 000	111 600	-	1 093 800
Pompages d'exhaure et d'injection															
Puissance électrique d'exhaure moyenne	kW	68	68	68	50	50	21	21	21	50	68	68	68	52	-
Puissance électrique d'injection moyenne	kW	60	60	60	41	41	11	11	11	41	60	60	60	43	-
Consommation électrique exhaure	MWh	51	46	51	36	37	15	16	16	36	51	49	51	-	454
Consommation électrique injection	MWh	44	40	44	29	30	8	8	8	29	44	43	44	-	375
Température exhaure	°C	55	55	55	54	54	53	53	53	54	55	55	55	54	-
Température injection	°C	20	20	20	25	25	35	35	35	25	20	20	20	25	-
Valorisation de la ressource															
Puissance thermique	kW	6 111	6 111	6 111	4 220	4 220	1 571	1 571	1 571	4 220	6 111	6 111	6 111	4 503	-
Energie thermique prélevée sur la ressource	MWh	4 547	4 107	4 547	3 038	3 139	1 131	1 169	1 169	3 038	4 547	4 400	4 547	-	39 378
COP géothermie	-	48	48	48	47	47	49	49	49	47	48	48	48	48	-
Energie spécifique thermique	kWh/m3	40,7	40,7	40,7	33,8	33,8	21,0	21,0	21,0	33,8	40,7	40,7	40,7	-	-
Energie spécifique électrique	kWh élec/m3	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	0,7	0,9	0,9	0,9	-	-

Tableau 30 : Consommation énergétique et COP du doublet selon l'hypothèse de productivité/injectivité du réservoir

3.1.7 Descriptif des équipements constitutifs de la boucle géothermale

L'échangeur de chaleur constitue la limite entre la boucle géothermale et le réseau géothermique.

Le tableau ci-après rassemble les données techniques relatives à chaque équipement, ainsi que la périodicité prévisionnelle de renouvellement du matériel. Le futur doublet sera équipé de moyens de production et de traitement des fluides spécifiques au Lusitanien.

Le dimensionnement définitif des équipements de production dépend des résultats des essais de production et de réinjection réalisés en fin de travaux de forage.

Les caractéristiques des équipements fixes de la boucle géothermale (puits, dispositif de traitement inhibiteur, conduite de surface, échangeurs) sont déterminées pour résister aux contraintes physiques et chimiques des fluides (eau géothermale, inhibiteur de corrosion-dépôts) et limiter les pertes de charge.

Les caractéristiques des éléments mobiles de la boucle géothermale (pompes 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.

Les sous-ensembles fonctionnels sont détaillés dans les tableaux suivants.

Sous-ensembles fonctionnels		Fonction	Caractéristiques techniques principales	Spécifications préliminaires	Fréquence de Renouvellement
A	Dispositif d'injection d'inhibiteur en fond de puits station de traitement associé	Lutter contre les phénomènes de corrosion et de dépôts dans les puits et dans les installations de surface.	<ul style="list-style-type: none"> - Tubing en acier allié base Nickel revêtu (protection contre la corrosion) diamètre extérieur \approx 16 mm pour traiter la colonne d'exhaure en acier. Lest injecteur avec diffuseur. - Station d'injection en surface (pompe doseuse, cuve de stockage, armoire électrique de contrôle et asservissement) 	<ul style="list-style-type: none"> - Manœuvrabilité - Résistance mécanique à la pression et à la traction - Résistance chimique à l'eau géothermale - Faible diamètre extérieur pour limiter les pertes de charge dans le puits. 	10 ans
B2	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentation électrique du groupe de pompage - Garantir la variabilité du débit en fonction des besoins. 	<ul style="list-style-type: none"> - Transformateur électrique élévateur - Variateur de fréquence avec filtre sinus 	<ul style="list-style-type: none"> - Haute qualité du courant et de la tension délivrés aux équipements électriques immergés (emploi de filtres sinus). 	20 ans	
C	Conduites de surface et robinetterie jusqu'à l'échangeur de chaleur	<ul style="list-style-type: none"> - Transport du fluide sous pression - Filtration - Maintien de la température. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conduites de surface en inox ou fibre de verre: PN 16 à 25 bars, et robinetterie inox et (ou) portées stellitées - Filtres à panier ou filtres cycloniques en Centrale avec tamis >250 μm. Dispositif de nettoyage par by-pass. 	<ul style="list-style-type: none"> - Débit géothermal de 150 m³/h et une pression nominale en tête de puits d'exhaure à préciser après détermination du point de bulle - Assemblage par brides des différents équipements (compteur débitmètre, filtres, clapets) pour faciliter le montage et le démontage. 	10-20 ans

Tableau 31 : Descriptif des équipements de la boucle géothermale du doublet de Chatenay-Malabry (1/2)

Tableau 32 : Descriptif des équipements de la boucle géothermale du doublet Chatenay-Malabry (2/2)

Sous-ensembles fonctionnels		Fonction	Caractéristiques techniques principales	Spécifications préliminaires	Fréquence de Renouvellement
D	Echangeur de chaleur à plaques	- Transférer les thermies depuis le fluide primaire (géothermal) au fluide secondaire (géothermique).	- Echangeur à plaques en titane d'une épaisseur minimale des plaques de 0,8 mm - Géométrie des plaques et joints en accord avec les contraintes de variations de pressions et de température en cours d'exploitation.	- Résistance à la corrosion et au percement - Résistance à l'encrassement par le choix d'un écartement suffisant entre plaques - Surface d'échange majorée pour tenir compte de l'encrassement surfacique des plaques - Faibles pertes de charge au débit nominal d'exploitation de 150 m ³ /h (1 à 2 bar).	20 ans
E	Groupe de pompage de réinjection et équipements électriques d'alimentation depuis le TGBT	- Réinjecter la totalité du volume extrait - Vaincre les pertes de charge cumulées des cuvelages d'injection et du réservoir.	- Débit minimum et maximum : 50 à 150 m ³ /h, - H.M.T minimum et maximum : 61 à 162 m, - Puissance électrique côté EDF : max 158 k.W, - Variateur de fréquence. avec éventuellement un filtre	- Démontage facile de l'hydraulique et du moteur lors des opérations de maintenance - Groupe de pompage horizontal à garniture mécanique d'étanchéité lubrifiée à l'huile - Résistance mécanique à la pression et chimique à l'eau géothermale - Tenue à une température entre 60 et 20°C.	20 ans
F	Conduites de surface et robinetterie entre pompe d'injection et tête de puits d'injection	- Transport du fluide sous pression en sortie échangeur.	-Conduites de surface: en inox ou fibre de verre et la robinetterie, PN 16 à 25 bars, pour les conduites et robinetterie tout inox et ou portées stéilitées	- Débit géothermal de 150 m ³ /h et une pression nominale en tête de puits maximale de 21 bars - Assemblage par brides des différents équipements pour faciliter le montage et le démontage.	10-20 ans
G	Régulation et contrôle des puits, des installations de surface et du fluide	- Régulation des pressions et débits en fonction des besoins - Sécurité - Contrôle des paramètres du fluide.	- Capteurs, pressostats et doigts de gant adaptés à la température et à la pression - Dispositif de suivi de la corrosion par coupons témoins.	-	5 -10 ans

3.2 Exposé des méthodes de forage envisagées

3.2.1 Principe et méthodologie des travaux de forage

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 d'environ 40 mètres avant la mise en place de l'appareil de forage rotary.

L'avant-puits est réalisé par havage, en utilisant par exemple la technique de forage « sans boue » (voir figure ci-dessous). Le matériel correspondant est couramment utilisé en Génie Civil pour l'exécution de pieux forés en gros diamètre (voir figure de la page suivante). Cette technique évite de déstabiliser et de lessiver les formations de surface.

Le tube guide mis en place par cette technique aura un diamètre intérieur minimal de 762 mm permettant le passage d'un tricône 24" permettant par la suite d'installer le premier tubage en 18^{5/8}.

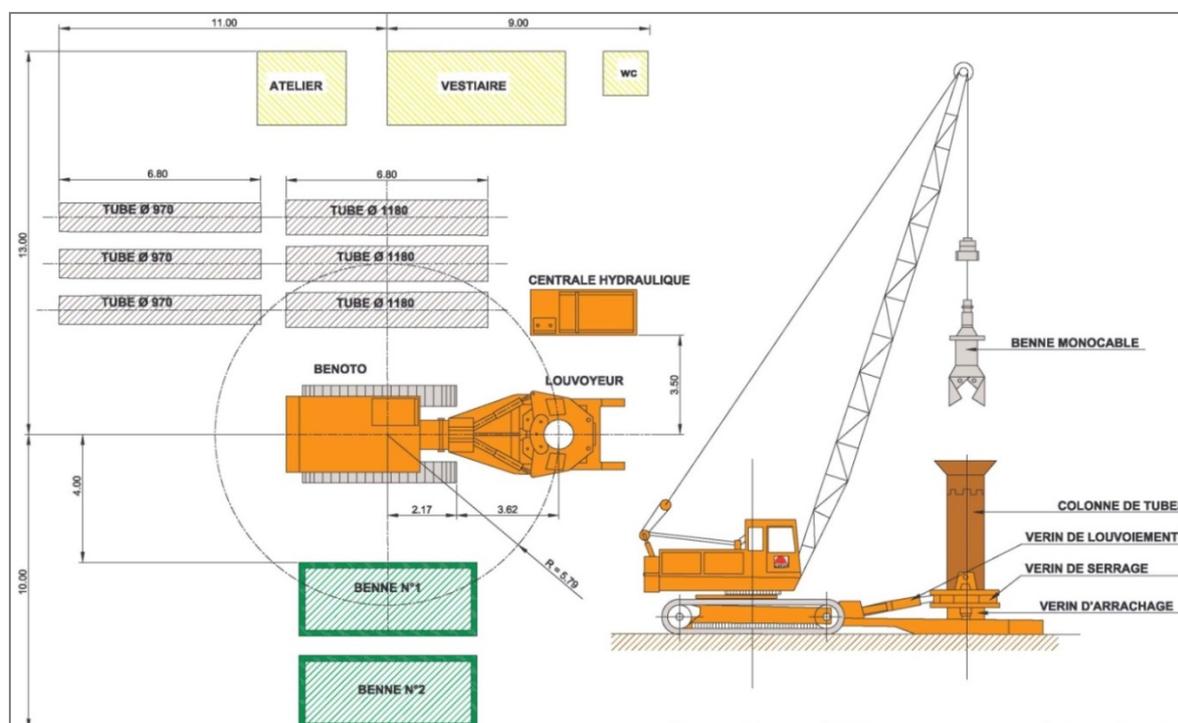


Figure 80 : Réalisation de l'avant-puits avec des moyens de forage légers

L'attaque du terrain se fait au moyen d'une benne circulaire munie de coquilles ouvertes qui percutent le sol et remonte les déblais, coquilles fermées. L'ouverture et la fermeture des coquilles sont commandées par câble. L'outil est manœuvré au moyen d'un treuil principal et d'une potence.

Parallèlement à l'extraction des déblais, le forage est tubé avec des tubes à verrouillage rapide qui sont enfoncés (ou retirés) au fur et à mesure de la perforation.

Le tubage est animé d'un mouvement latéral louvoyant assuré par une centrale hydraulique munie de vérins de louvoiment relié à la tête du tubage par un collier.

Les mouvements verticaux de ce tubage sont assurés par des vérins de fonçage et d'arrachage.

La puissance motrice de ce matériel est de l'ordre de 180 CV.

Les vibrations générées par ce type de matériel sont pratiquement inexistantes, le louvoisement s'effectuant à vitesse réduite et les seules vibrations induites sont celles de la coquille percutant le sol (un parallèle pouvant être fait avec le godet d'une pelleteuse).



Figure 81 : Mise en place d'un tube guide par louvoisement et vue d'une coquille utilisée pour l'extraction des déblais

Le forage « rotary »

Cette méthode de forage sera utilisée à partir de 40 mètres jusqu'à la cote finale. Le terrain foré étant totalement détruit, on parle de forage destructif (Cf. Figure suivante).

Le forage rotary utilise un trépan (ou outil), à dents ou monobloc, fixé à l'extrémité de tige de forage. On applique sur le trépan (Cf. Figure ci-dessous), entraîné en rotation, le poids de masses-tiges. Un fluide de forage (boue) est injecté en continu au niveau du trépan.



Les masses-tiges vissées au-dessus de l'outil sont prolongées jusqu'en surface par les tiges de forage. Les tiges de forage, constituées de tubes vissés entre eux, assurent la transmission du mouvement de rotation et la circulation descendante 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. Le mât est la superstructure métallique montée à l'aplomb du puits qui permet la manutention des tiges et soutient leur poids.

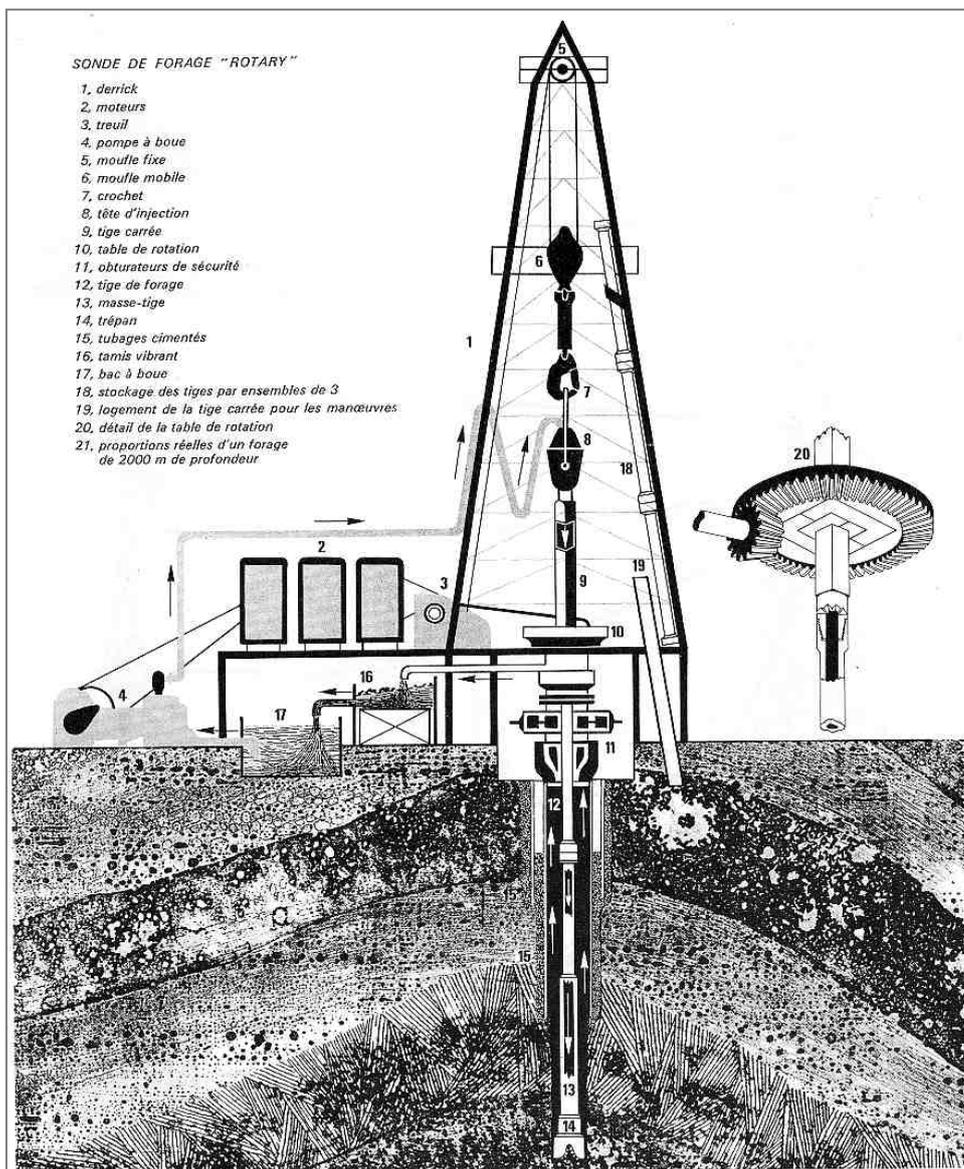


Figure 82 : Sonde de forage rotary (document ENSPM)

Le fluide de forage, constitué d'un mélange principal d'eau et de bentonite (argile naturelle) est utilisé en circuit fermé. Son rôle est de refroidir et lubrifier le trépan, maintenir les parois du trou et d'assurer la remontée des déblais de forage produit par l'action du trépan. Il est injecté dans les tiges de forage par une pompe à haute pression. Il assure la remontée des déblais, produits par l'action des dents de l'outil, contribue au soutien des parois du puits et maintient en place, par pression hydrostatique, les fluides présents dans les terrains aquifères.

Le puits est foré par phases de diamètres décroissants et concentriques. A la fin de chaque phase, un tubage 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.

3.2.2 Matériel mis en œuvre pour les travaux de forage

3.2.2.1 Forage de l'avant-trou

L'utilisation d'une sondeuse utilisant le forage par havage est recommandée pour réaliser "l'avant-trou" du doublet (méthode « sans boue » décrite ci-dessus).

3.2.2.2 Matériel de forage « rotary »

La réalisation du programme de forage, tel qu'il est défini au Chapitre 3.1 nécessite l'utilisation d'une machine de forage d'une capacité minimale au crochet de 100 tonnes.

Les matériels disponibles, des entreprises de forage françaises, nécessitent une emprise au sol minimale d'environ 60 mètres de longueur, pour une largeur d'environ 40 mètres, en incluant les bacs de stockage des effluents, la hauteur hors-tout du mât de ce type de machine est au maximum de 40 mètres au-dessus du niveau du sol (Cf. Figure 83, Figure 84).

3.2.2.3 Eclairage

Une installation d'éclairage électrique sera mise en place sur le chantier. Son dimensionnement permettra le travail nocturne (ou en cas de faible luminosité) dans des conditions de sécurité maximales. Elle concernera les zones de travail, les aires de stockage, les accès du chantier ainsi que son abord immédiat.



Figure 83 : Exemple d'implantation en contexte urbain (plateforme au Dogger Meaux Beauval)



Figure 84 : Exemple d'implantation en contexte résidentiel (plateforme au Néocomien Plessis-Robinson)

3.2.3 Organisation générale du chantier

3.2.3.1 Supervision des travaux

Le futur maître d'œuvre sera notamment chargé de veiller au respect du programme de forage et s'assurera de la bonne conduite des opérations suivantes :

- les travaux de préparation de la plateforme et de sécurisation des accès ;
- des travaux de forages et des tests hydrauliques ;
- coordination à la remise en état de la boucle géothermale ;
- mise en place des moyens de pompage et des têtes de puits ;
- la remise en état du site ;
- le respect de la réglementation et notamment des dispositions relatives à la protection de la santé humaine.

3.2.3.2 Horaires de travail

Pour les opérations concernant les phases de forage et de test, le fonctionnement du chantier est prévu en continu :

- les activités seront organisées par équipes postées, 3 postes de 8 heures, 7 jours sur 7 avec des demandes d'autorisation de travail le dimanche ;
- les périodes de récupération seront organisées pour maintenir les durées de travail dans les limites définies par le Code du travail.

Les autres opérations s'effectueront selon un régime horaire classique de 8 heures par jour, 5 jours sur 7, sauf situations exceptionnelles de courtes durées qui seront gérées, le cas échéant, dans le respect du Code du travail (par exemple lors d'une opération de diaggraphie, intervention urgente ou cas d'alarme pendant le week-end...).

3.2.3.3 Effectifs sur site

Toutes entreprises confondues, l'effectif présent en permanence sur le site est en général inférieur à 15 personnes :

- entreprise de forage : maximum 5 personnes présentes sur le site simultanément sauf situation exceptionnelle de courte durée (mobilisation et démobilitation de la machine de forage) ;

- sous-traitants divers (génie civil, transporteurs, opérateurs diagraphie, cimentation,..) : maximum de 5 personnes présentes simultanément sur le site sauf situation de relève d'équipe ;
- personnel d'encadrement et de supervision (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, superviseurs...) : 2 personnes maximum simultanément sur le site sauf pour les réunions de chantier (5 personnes maximum).

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT



4 ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

La prise de conscience dans les années 1970 de la nécessité de limiter les dommages à la nature s'est concrétisée par des lois obligeant à réduire les nuisances et pollutions, et à atténuer les impacts des grands projets (ou de projets dépassant un certain coût). Pour ce faire, des études d'impact environnemental sont devenues obligatoires préalablement à la réalisation d'aménagements ou d'ouvrages qui, par l'importance de leurs dimensions ou leurs incidences sur le milieu naturel, pourraient porter atteinte à ce dernier.

L'étude d'impact se présente à la fois comme une procédure administrative et une démarche scientifique préalable destinée à analyser l'insertion du projet dans l'ensemble des composantes de l'environnement (eau, air, sol, plantes et animaux). Elle permet d'analyser les effets directs et indirects, immédiats et lointains, individuels et collectifs du projet sur l'environnement. Le contenu de l'étude d'impact est proportionné à la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet, à l'importance et à la nature des travaux, ouvrages et aménagements projetés et à leurs incidences prévisibles sur l'environnement ou la santé humaine.

L'étude d'impact environnemental est un outil mis à la disposition du maître d'ouvrage public ou privé pour concevoir un projet respectueux de l'environnement. Elle doit donc commencer très en amont du dit projet, au stade de l'esquisse technique et continuer pendant toute la phase d'élaboration. Elle est également un outil d'information au service de l'autorité compétente pour instruire la demande d'autorisation et décider en toute connaissance de cause.

Enfin, elle contribue à l'information du public. En tant que telle, elle facilite la participation de ce même public. L'étude d'impact est ainsi jointe aux dossiers de demande d'autorisation de recherche et d'ouverture de travaux exploratoires sur lesquels le public est invité à réagir, présenter ses observations, ses remarques ou ses contre-propositions.

L'obligation de réaliser une étude d'impact environnemental préalablement à l'octroi d'une autorisation de projet de travaux, d'aménagements ou d'ouvrages date, en France, de la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature et son décret d'application en date du 12 octobre 1977. Depuis le 1^{er} juin 2012, tout projet dont le dossier de demande d'autorisation, d'approbation ou d'exécution est déposé auprès de l'autorité compétente doit appliquer les dispositions du décret n°2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements.

Le droit des études d'impact est régi par les articles L. 122-1 à L. 122-3 et R. 122-1 à R. 122-16 du Code de l'Environnement. L'article R. 122-1 prévoit que les études d'impact environnemental préalables à la réalisation de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements prescrites par la présente section soient réalisées sous la responsabilité du pétitionnaire ou du maître d'ouvrage (article 1 du décret 2011-2019).

Selon le tableau annexé à l'article R. 122-2 du Code de l'Environnement, sont soumis à une étude d'impact de façon systématique :

- les travaux de forage d'exploration et d'exploitation minière, à l'exclusion des forages géothermiques de minime importance, des forages de moins de 100 mètres de profondeur et des forages pour étudier la stabilité des sols ;
- l'ouverture de travaux de recherches et d'exploitation des gîtes géothermiques mentionnés à l'article L. 112-1 du Code Minier.

Dans ce contexte, ce chapitre présente l'étude d'impact environnemental du projet de géothermie de la ZAC La Vallée de Chatenay-Malabry. Cette étude va par conséquent :

- **décrire l'état initial du site d'implantation des puits géothermiques et de son environnement;**
- **recenser les impacts des travaux sur l'environnement afin de définir la meilleure 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 présenter les mesures envisagées pour supprimer, limiter et si possible compenser les effets négatifs.**

Conformément à l'article R.122-5 du Code de l'Environnement, le contenu du présent dossier est « en relation avec l'importance des travaux et aménagements projetés et avec leurs incidences prévisibles sur l'environnement » ; il présente successivement :

- une description du projet comportant des informations relatives à sa conception et à ses dimensions ;
- une analyse de l'état initial de la zone et des milieux susceptibles d'être affectés par le projet;
- une esquisse des principales solutions de substitution examinées par le pétitionnaire ou le maître d'ouvrage et les raisons pour lesquelles, eu égard aux effets sur l'environnement ou la santé humaine, le projet présenté a été retenu ;
- une analyse des effets négatifs et positifs, directs et indirects, temporaires (y compris pendant la phase des travaux) et permanents, à court, moyen et long terme, du projet sur l'environnement et une proposition des mesures mises en place afin d'éviter, réduire ou compenser ces impacts ;
- les éléments permettant d'apprécier la compatibilité du projet avec l'affectation des sols définie par le document d'urbanisme opposable et son articulation avec les plans, schémas et programmes mentionnés à l'article R.122-17 du Code de l'Environnement ;
- une analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus ;
- une présentation des méthodes utilisées pour établir l'état initial et évaluer les effets du projet sur l'environnement ;
- une description des difficultés éventuelles, de nature technique ou scientifique, rencontrées par le maître d'ouvrage pour réaliser cette étude ;
- les noms et qualités précises et complètes du ou des auteurs de l'étude d'impact et des études qui ont contribué à sa réalisation.

L'étude d'impact est complétée par :

- un résumé non technique afin de faciliter la prise de connaissance par le public des informations contenues dans l'étude ;
- des cartes et images de présentation de l'environnement du site au sein de l'aire d'étude retenue.

4.1 Auteurs de l'étude d'impact et références bibliographiques

Nom, qualité des auteurs : Morgane Le Brun, Hydrogéologue.

Sources (internet) :

www.chatenay-malabry.fr;

www.valleesud.fr

www.hauts-de-seine.fr

www.hauts-de-seine.gouv.fr

www.geoportail.gouv.fr;

www.iau-idf.fr;

www.inpn.mnhn.fr

<http://sigessn.brgm.fr>;

<http://refsrce.natureparif.fr>;

www.onf.fr

www.georisques.gouv.fr;

www.wikipedia.fr;

ww.meteofrance.com ;

<https://www.infoclimat.fr> ;

<http://infoterre.brgm.fr>.

Références Bibliographiques consultées pour l'étude d'impact :

PLU de Chatenay-Malabry: Le conseil municipal de Chatenay-Malabry a approuvé le 20 décembre 2012 le Plan Local d'Urbanisme de la commune. Ce PLU a été mis à jour et modifié plusieurs fois en 2015, 2016 et 2017, notamment par le président de l'établissement Public Territorial (EPT) Vallée Sud- Grand Paris.

La modification simplifiée du PLU sur la zone d'aménagement concertée Chatenay-Malabry Parc Centrale a été approuvée lors du Conseil de Territoire de fin mai 2019. Une troisième modification du PLU engagée en avril 2019 par le président de l'EPT a reçu un avis favorable du commissaire enquêteur en août 2019 après 1 mois d'enquête publique. Cette modification porte essentiellement sur la protection de l'habitat pavillonnaire, la modification du PLU devait être approuvée fin septembre 2019.

4.2 Conception et dimension du projet

4.2.1 Justification du projet

En février 2017, Eiffage Aménagement a gagné le concours d'aménagement pour créer l'éco-quartier de la Vallée à Chatenay-Malabry sur 21 Ha dans le cadre d'une Zone d'Activité Concertée, la ZAC La Vallée.

Cet aménagement de la ZAC comprend la création de 216 695 m² de locaux dont 132 496 m² de logement accession, 16 202 m² de logement social, 33 106 m² de bureaux, 14 354 m² de commerces, 20 537 m² de bâtiments publics (école, crèche, ...). La livraison de l'aménagement est prévue en 18 lots avec 3 phases dont une première livraison début 2022 et la dernière livraison prévue en 2026.

Cette opération est réalisée sous la forme d'une SEMOP (Société d'Economie Mixte à Opération Unique), dont l'objet est l'aménagement du terrain de 21 Ha. Les actionnaires de la SEMOP sont Eiffage, la ville de Chatenay-Malabry et la Caisse des Dépôts et Consignations.

La SEMOP a mis en place une ASL (Association Syndicale Libre) à l'échelle de la ZAC pour assurer le portage d'un certain nombre de services à l'échelle du quartier (gestion des chambres d'amis partagées, gestion de la conciergerie de quartier, ...). Cette ASL regroupe les promoteurs et utilisateurs de l'Aménagement dont Eiffage Immobilier, Kaufman & Broad, Icade, Coffim et Lidl.

Dans le cadre des études et demande d'autorisation de réalisation de la ZAC, une étude d'impact a été réalisée sur l'ensemble de la ZAC par le Cabinet Even Conseil, cette étude d'impact est annexée à ce document (annexe 7.14) ainsi que l'avis de l'autorité environnementale (annexe 7.15). **A noter que le projet de la ZAC est soumis à l'arrêté préfectoral DCPAT n°2019 -21 en date du 25 février 2019 autorisant le projet d'aménagement de la ZAC Parc-Centrale sur la commune de Châtenay-Malabry (92)** dont les prescriptions s'impose à l'ensemble du projet de la ZAC, dont le projet de doublet géothermique de Chatenay-Malabry.

Pour alimenter les usagers de la ZAC avec une énergie issue a minima à 60 % d'une source d'énergie décarbonnée, l'ASL a décidé de confier la réalisation d'un réseau de chaleur privé à Eiffage Energie Systèmes. Le contrat d'exploitation de ce réseau de chaleur sera porté par Flowergy Chatenay – Malabry, filiale à 100% d'Eiffage Energie Systèmes, avec l'ASL comme interlocuteur ad hoc.

Après étude des besoins de chauffage et d'ECS des bâtiments concernés, le principe de chauffage retenu est une géothermie profonde couplé à des pompes à chaleur, de manière à adapter le régime de température aux émetteurs des bâtiments ainsi qu'à la production d'ECS.

Le financement du projet sera assuré par Eiffage Energie Systèmes qui assurera la Maîtrise d'Ouvrage Déléguée pour la partie technique et sera le porteur financier du projet.

4.2.2 Principe du projet

Le projet consiste en la réalisation d'un nouveau doublet géothermique au Lusitanien sur le site de la ZAC La Vallée de Chatenay-Malabry.

L'eau du Lusitanien sera pompée par le puits producteur GCTM-3, passera dans les échangeurs de la centrale géothermique pour être par la suite réinjectée via le puits injecteur GCTM-4, à une température plus froide, dans le réservoir d'origine du Lusitanien.

Le réservoir du Lusitanien présentant un caractère exploratoire, une option de repli sur l'aquifère plus superficiel du Néocomien est prévue (Cf. logigramme ci-dessous). Ainsi, le premier puits de production GCTM-3 sera foré verticalement en ciblant l'aquifère du Lusitanien, puis :

- En cas de succès, le second ouvrage d'injection GCTM-4 dévié sera réalisé. Il n'est pas envisagé que le second puits soit un échec compte tenu du faible écartement entre les puits et la nature du réservoir ;

- En cas d'échec, un repli du forage producteur sera effectué au Néocomien puis un second puits d'injection sera réalisé directement au Néocomien. Il n'est pas envisagé d'échec total au Néocomien étant donné le retour d'expérience sur l'opération du Plessis-Robinson.

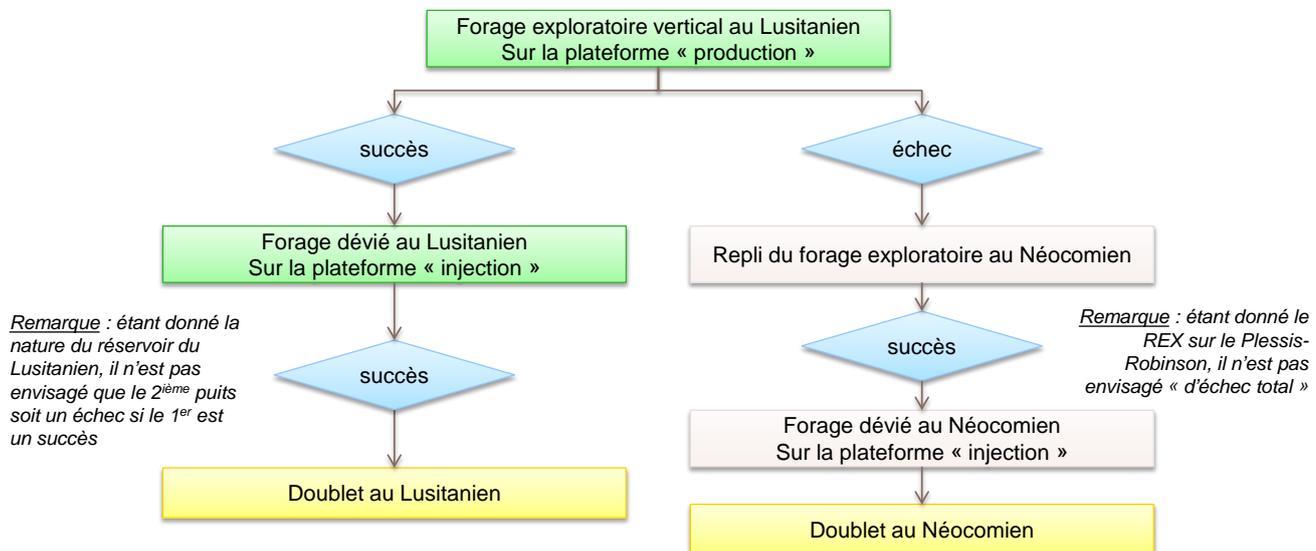


Figure 85 : Logigramme du projet géothermie au Lusitanien avec repli au Néocomien

La réalisation des puits géothermiques profonds suppose l'utilisation d'une machine de forage de taille importante. Les matériels disponibles, des entreprises de forage françaises, nécessiteront une emprise au sol d'environ 3 500m² et une hauteur hors-tout du mât de ce type de machine au maximum de 40 mètres au-dessus du niveau du sol.

Durant la phase d'exploitation, et pour des raisons de maintenance des ouvrages, une surface de service d'environ 1 000 m² sera conservée autour des nouvelles têtes de puits.

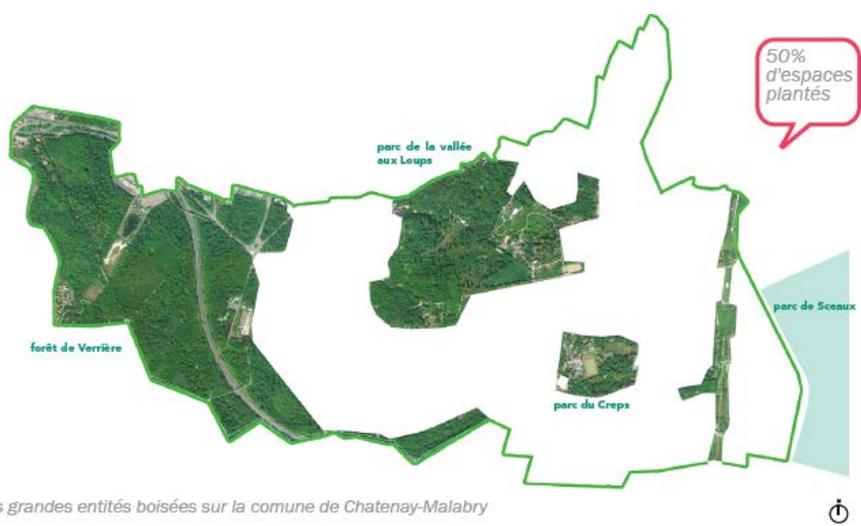
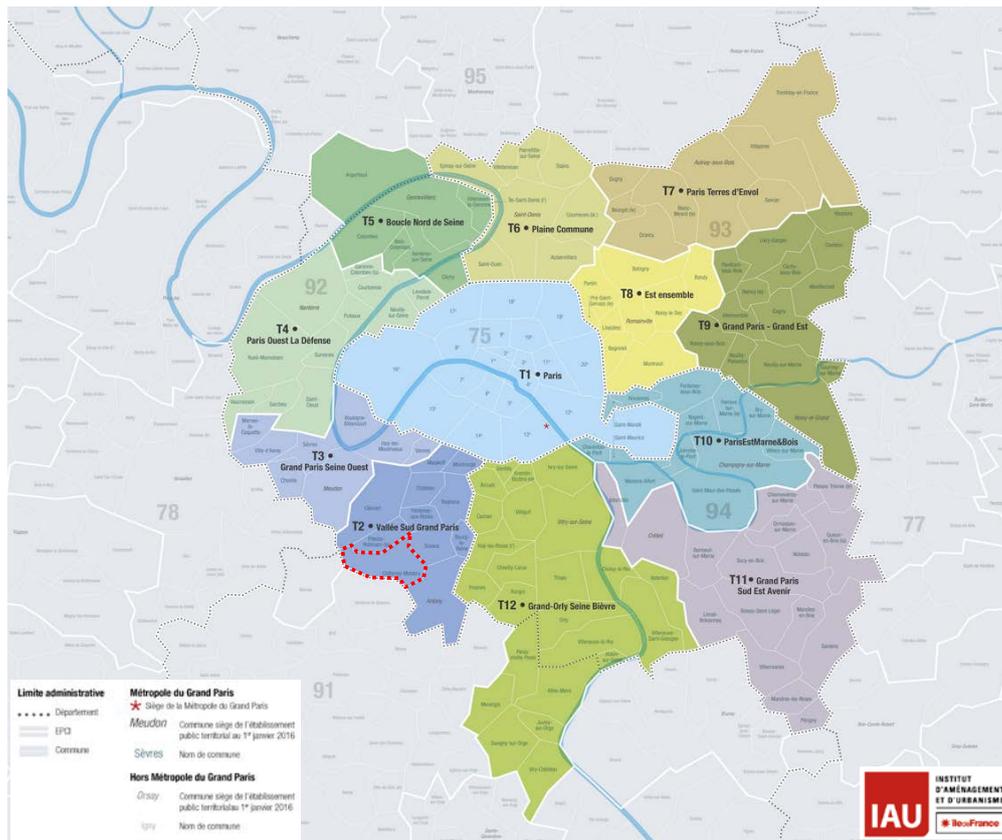
4.3 Analyse de l'état initial et des milieux susceptibles d'être affectés par le projet

4.3.1 Contexte géographique et topographique

La commune de Châtenay-Malabry est située dans la partie sud du département des Hauts-de-Seine (92), à une dizaine de km au sud de Paris. Elle est limitrophe des communes de Plessis-Robinson, Antony, Sceaux, Antony, Verrières-le-Buisson, Bièvres et Clamart. (Cf. Figure 86).

Châtenay-Malabry appartenait jusqu'au 1^{er} janvier 2016 à la Communauté d'Agglomération des Hauts de Bièvre (CAHB), qui depuis a été intégrée au Territoire 2 « Vallée Sud Grand Paris » de la métropole du Grand Paris.

Châtenay-Malabry est traversée par la coulée verte, un parc linéaire passant au-dessus ou à côté des voies du TGV Atlantique. La commune présente 50% d'espaces plantés dont le parc de la forêt de Verrière bordant la commune à l'ouest, le parc de la vallée aux Loups la bordant au Nord et le parc du Creps localisé à l'est de la commune (Cf. Figure ci-dessous).



L'A86 structure la partie sud de la commune avec l'avenue de la Division Leclerc (RD986). L'avenue Sully Prudhomme (RD67) permet la liaison Nord-Sud, en limite communale avec Sceaux.

La ville s'étend sur 635 hectares avec une zone de plateau à l'ouest culminant à environ 171m qui s'abaisse vers l'Est avec un dénivelé de 100m environ, délimitant une zone de plateau et une zone de vallées. A l'Est, le relief se poursuit en pente douce jusqu'à Sceaux (Cf. Figure ci-dessous)

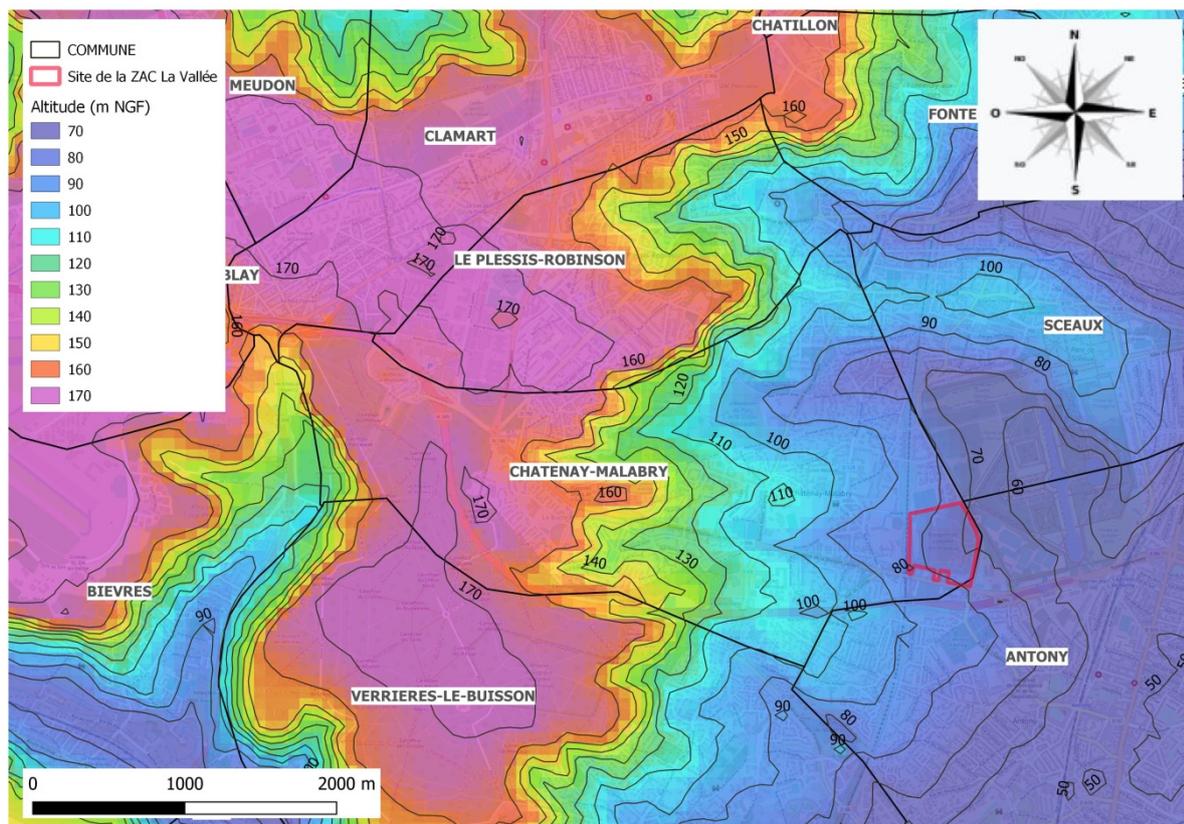


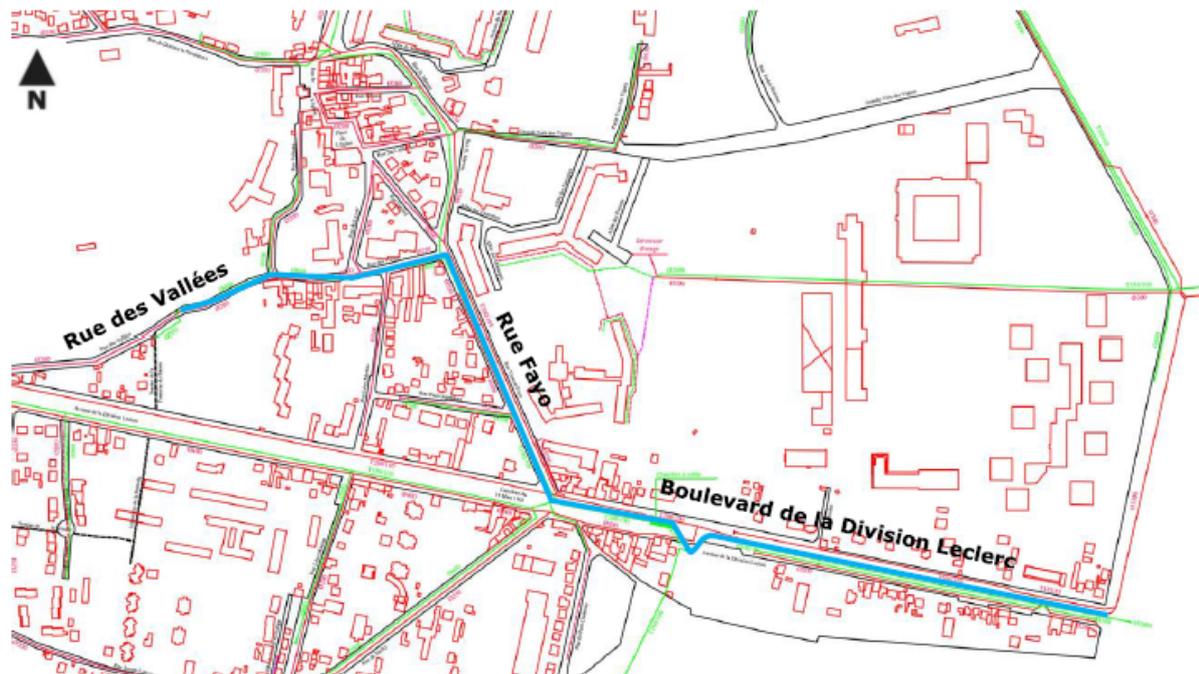
Figure 88 : Topographie de Chatenay-Malabry

4.3.2 Réseau hydrographique

Deux talwegs se dessinent sur la commune, liés aux vallons de deux rus, le ru d'Aulnay au Nord, le ru de Châtenay plus au sud. Le ru d'Aulnay prend sa source à proximité du chemin du Loup pendu et parcourt la Vallée aux Loups tandis que le ru de Châtenay prend sa source dans la forêt de Verrières et traverse la cité de la Butte Rouge jusqu'à la coulée verte dans un réseau enterré (Cf. Figure ci-après).

Ces deux rus alimentent aujourd'hui le grand canal du Parc de Sceaux avant de rejoindre la Bièvre sur la commune d'Anthony.

Plusieurs plans d'eau ponctuent leur parcours comme le bassin de l'Arboretum de la Vallée aux Loups et celui du parc de la roseraie au niveau du CREPS. La ville de Châtenay-Malabry dispose d'un patrimoine lié à l'eau représenté par les fontaines, les bassins (Allemane, ZAC des Friches et des Houssières, bois de Verrières, école Suzanne Buisson), un lavoir, plusieurs plans d'eau (arboretum, parc Roland Gosselin). Tous ces espaces sont néanmoins peu reliés entre eux.



PLAN DU RU DE CHÂTENAY ACTUEL
SOURCE : VILLE DE CHÂTENAY - MALABRY

Figure 89: Tracé du ru de Châtenay canalisé (source: dossier Loi Eau, avril 2018)

Des zones humides sont suspectées au niveau de la coulée verte de la commune et avérées à l'extrémité ouest de la commune au niveau du bassin de l'Abbaye aux bois (zones vertes sur la figure ci-dessous).

Ainsi:

- la Classe 1 correspond à la délimitation de zones humides réalisées par des diagnostics de terrain selon des critères et méthodologie décrite dans l'arrêté du 24 juin 2008 modifié et ne contient que les informations du CBNBP.
- La Classe 2 correspond aux Zones humides identifiées selon les critères de l'Arrêté du 24 juin 2008 mais dont les limites n'ont pas été réalisées par des diagnostics de terrain (photo-interprétation) Ou Zones humides identifiées par des diagnostics terrain mais à l'aide de critères et/ou d'une méthodologie différents de celle de l'arrêté.
- La Classe 3 correspond à une probabilité importante de zones humides mais le caractère humide et les limites restent à vérifier et à préciser.
- La Classe 4 correspond à une Enveloppe pour laquelle on manque d'informations ou pour laquelle les données existantes indiquent une faible probabilité de zone humide. L'enveloppe de cette classe est en fait le négatif de la fusion des 4 autres classes. Pour cette raison, la Classe 4 n'est pas présente dans la couche Enveloppes d'alerte zones humides en Ile-de-France.
- La Classe 5 correspond à une Enveloppe où sont localisées toutes les zones en eau : à la fois les cours d'eau et les plans d'eau extraits et révisés de la BD Carthage et la BDTopo.

Au niveau du site, une étude pédologique réalisée en 2018 par le cabinet de Conseil Even a détecté une zone humide au niveau du site de la ZAC la Vallée (voir la Figure 91). Cette zone humide sera détruite lors des travaux d'aménagement de la ZAC mais des mesures de compensation permettront de reconstruire une zone humide à proximité.



Figure 90: Probabilité de présence de zones humides sur le territoire de Chatenay-Malabry (DRIEE IDF)



Figure 91: Localisation de la zone humide sur le site de la ZAC La Vallée repérée par Even Conseil lors d'une étude pédologique (février 2018)

4.3.3 Contexte climatique

Le climat de Châtenay-Malabry est celui de l'ensemble de la région parisienne, de type semi-océanique, quelque peu dégradé par des influences continentales. Essentiellement tempéré, un peu plus océanique que continental, il se caractérise par la clémence des hivers, la douceur des étés, la rareté des situations excessives et la faiblesse relative des vents.

La station météorologique la plus proche est celle de Vélizy-Villacoublay. A noter que le relief est trop peu marqué pour avoir une influence sensible sur le climat local.

Dans la partie urbanisée, les brumes, plutôt sèches, sont surtout dues à la pollution, tandis que le reste de la région connaît des brouillards plus humides, surtout dans les vallées, au cours des hivers froids et humides.

Les normales de température sur la période 1980-2010 donnent une moyenne maximale à 14,8°C et une moyenne minimale de 7,5°C. Les normales de précipitations cumulées sur une année sont de 675,7 mm pour la période 1980-2010 (Cf. Figure ci-dessous).

Entre 2011 et 2019, La température maximale moyenne annuelle est de 15,8 °C, la température minimale moyenne annuelle est de 8,4°C (Cf. Figure 92). Le mois le plus le froid est Février avec un minimum de -8°C enregistré en 2018, les mois les plus chauds sont Juillet et Août avec des températures maximales de 40°C enregistrées en 2019. Sur l'année 2015 (dernière année avec les données d'ensoleillement pour la station de Villacoublay), l'ensoleillement atteint en moyenne 1 752 heures et les précipitations atteignent le cumul de 457 mm. En 2018, le cumul des précipitations a atteint 623 mm.

La répartition des jours de pluie est régulière tout au long de l'année, mais les mois de janvier et juin ont été les plus humides en 2018.

Les îlots de chaleur urbains sont des phénomènes thermiques créant une sorte de micro climat urbain où les températures sont significativement plus élevées dans le centre-ville qu'en périphérie. La commune de Châtenay-Malabry bénéficiant de nombreuses surfaces boisées, les températures ressenties en centre-ville peuvent être plus élevées que celles enregistrées à Vélizy-Villacoublay mais dans une moindre mesure que dans un milieu fortement urbanisé.

Les vents les plus forts sont entre 80 et 110 km/h, la moyenne des vitesses des vents est d'environ 20 km/h.

Les vents viennent préférentiellement du Sud-Ouest d'après les données entre 2009 et 2019, avec plus de 12% d'heures annuelles (Cf. Figure 93).

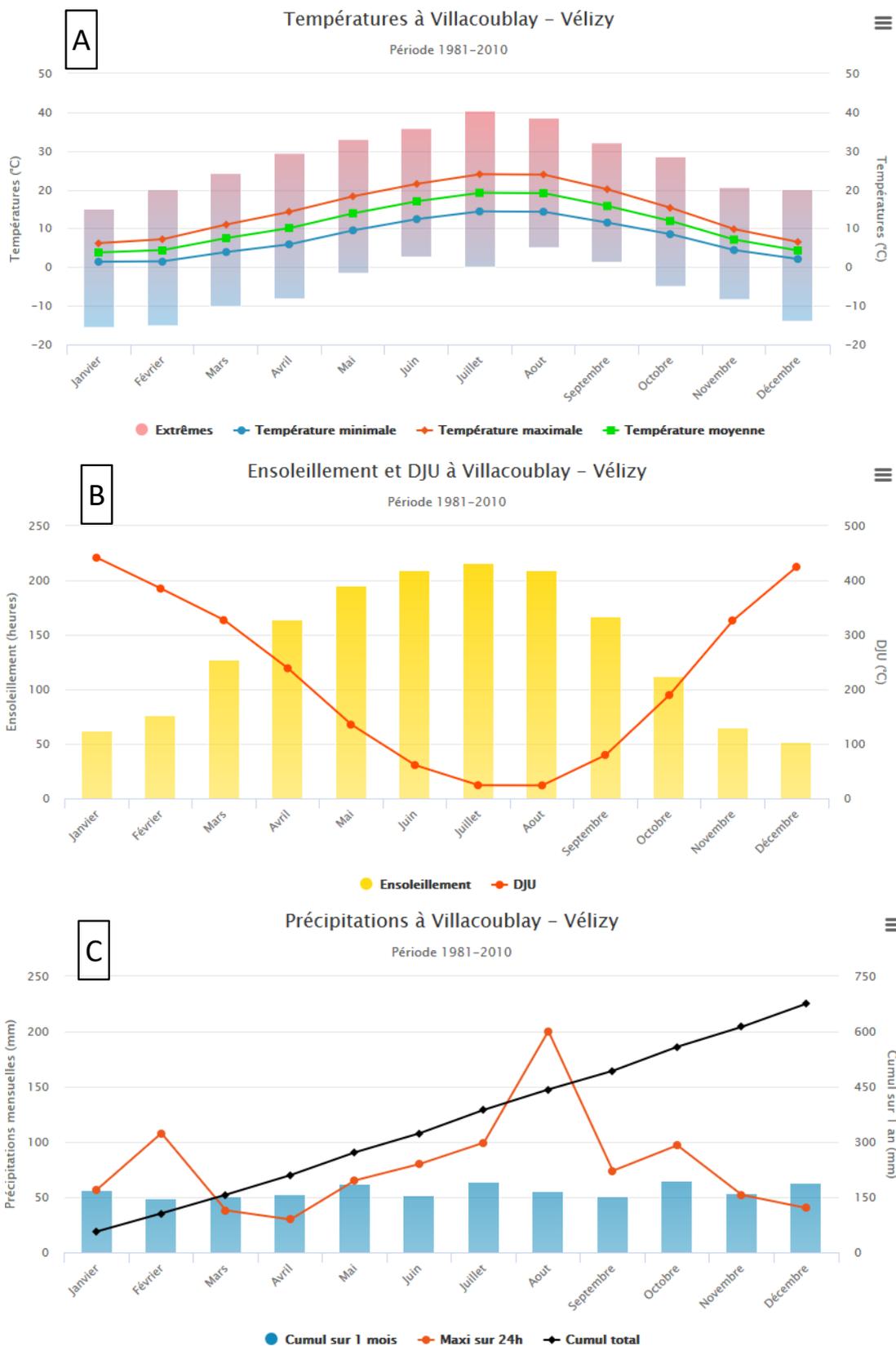


Figure 92 : Températures (A), ensoleillement (B), précipitations (C) - Normales sur la période 1981-2010, station climatologique de Vélizy-Villacoublay (Source : infoclimat)

Distribution de la direction du vent en //%

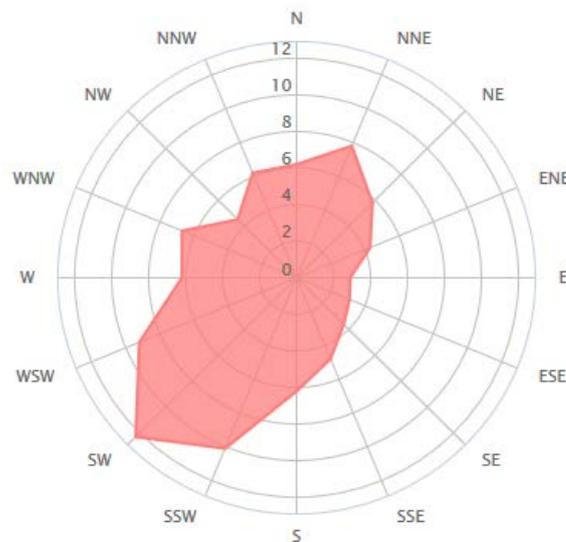


Figure 93: Rose des vents annuelle sur le site de Velizy-Villacoublay entre 2009 et 2019 (www.windfinder.com)

4.3.4 Histoire de l'évolution urbaine

L'occupation de Chatenay-Malabry par l'homme remonte à la période du néolithique (5000-2000 av JC). La continuité d'une présence humaine se traduit par des vestiges gaulois et gallo-romain et l'évolution du nom de la localité depuis Castanetum, Castinata puis Chastenaye et enfin, Châtenay, toujours en lien avec le nombre important de châtaigniers sur la zone.

Après une très ancienne implantation d'habitants dans le lieu-dit « Aulnay », le bourg s'est d'abord implanté sur la ligne de crête séparant les deux vallons creusés par les rus d'Aulnay et de Châtenay. Dès le IXe et Xe siècles, le village de Châtenay est mentionné, placé sous la dépendance du chapitre de Notre Dame. Au XVI, Châtenay commence à se transformer avec des familles nobles ou bourgeoises venant s'installer, dont Colbert qui y construit sa demeure, aujourd'hui le pavillon Colbert. Les premiers effets de la densification de Paris se firent sentir à la fin du XIXe siècle avec le premier lotissement sans véritable lien avec la ville de Châtenay. Au XXe siècle, les grands propriétaires locaux évoluent de l'agriculture à l'activité plus pépiniériste et arboriculteurs. En 1920, un décret associe les deux noms de Châtenay et de Malabry.

A partir de 1930, la ville se modernise avec la construction de la cité jardins de la Butte Rouge, fleuron de l'urbanisme social du front populaire. Au début des années 1970, la création de l'école Centrale des Arts et Manufactures et de la Faculté de Pharmacie lui donnent une dimension universitaire importante. L'aménagement de la ZAC des Friches et des Houssières et de la Croix Blanche transforme le visage de la ville avec la construction de nombreux équipements et bâtiments modernes.



Figure 94: Châtenay-Malabry (Dossier Territoire La Ville Parc)

4.3.5 Contexte administratif et intercommunalité

Depuis le 1er janvier 2016, Châtenay-Malabry fait partie de l'Établissement Public Territorial Vallée Sud-Grand Paris. Cette collectivité territoriale rassemble 11 communes et fait partie des 12 territoires de la métropole du Grand Paris. Au total, cette nouvelle intercommunalité accueille 395 761 habitants sur son territoire (Cf. Figure ci-dessous), elle remplace la communauté d'agglomération des Hauts de Bièvres existant précédemment.

Vallée Sud-Grand Paris porte actuellement de nombreux projets dont le réaménagement de la porte Malakoff, la création de logements au niveau de la plaine sud de Clamart, la reconstruction de logements à Antony, l'aménagement de la ZAC Victor Hugo à Bagneux.

4.3.5.1 Population et Entreprises

Le dernier chiffre officiel indique une population communale de 33 757 habitants en 2018 (donnée INSEE au 1er janvier 2018). Sa population est en augmentation depuis 1980. Malgré un nombre important de départ de la commune, Châtenay est caractérisée par une attractivité notable (+32% de ménages installés depuis moins de 4 ans en 2012) qui s'explique par la présence du réseau RER à proximité ou par le caractère vert de la commune.

Cette population est globalement jeune malgré une augmentation récente de la part des personnes âgées. Cette population est marquée par une diminution de la part des ménages.

La commune de Châtenay-Malabry a vocation principalement résidentielle, le tissu économique est plutôt constitué d'activités disséminées essentiellement le long de la RD986 même s'il existe des possibilités de développement supplémentaire dans d'autres zones de la commune. Contrainte par la présence de pôles d'activités concurrentiels proches, la ville montre une volonté d'impulser un développement économique à travers la dynamisation du petit commerce, la requalification ou le développement de plusieurs secteurs ainsi que les mutations possibles le long du tracé du futur tramway.

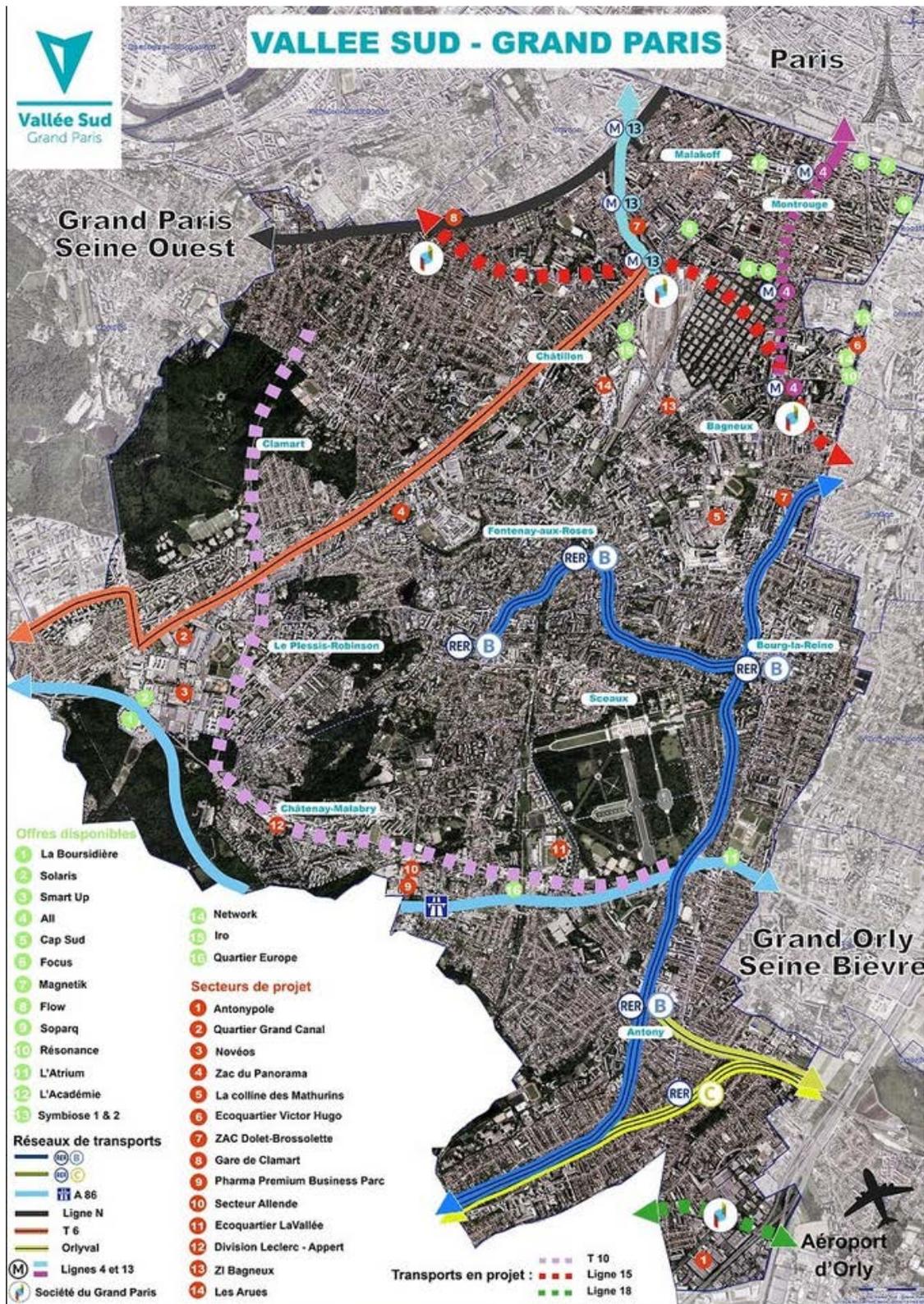


Figure 95: Territoire de l'Établissement Public Territorial Vallée Sud - Grand Paris

4.3.5.2 Diversité urbaine et architecturale

Le territoire regroupe 12 quartiers qui sont caractérisés par différentes entités urbaines, tant en terme de tissu urbain que de typologie du bâti (Cf. Figure 96) :

- Le quartier de la Butte Rouge par un faible turn-over de personnes, sur tout secteur d'habitat social
- D'autres quartiers sont moins attractifs, les quartiers semblant enregistrer le plus de mouvements sont situés à l'est de la commune (Voltaire, Robinson, Centre-Ville)
- La Croix Blanche a connu une urbanisation récente et présente un grand nombre de logements étudiant dans lesquels les résidents ne restent que quelques années.
- La taille démographique des quartiers Croix Blanche et Faulotte a fortement progressé et représente les deux tiers de l'évolution démographique de la commune entre 1999 et 2006.

Les espaces ouverts artificialisés (jardins, espaces verts, ...) représentent environ 18% du territoire communal, les espaces agricoles, forestiers ou naturels représentent environ 29%, ce qui laisse près de 53% (340 ha) d'espaces construits artificialisés.

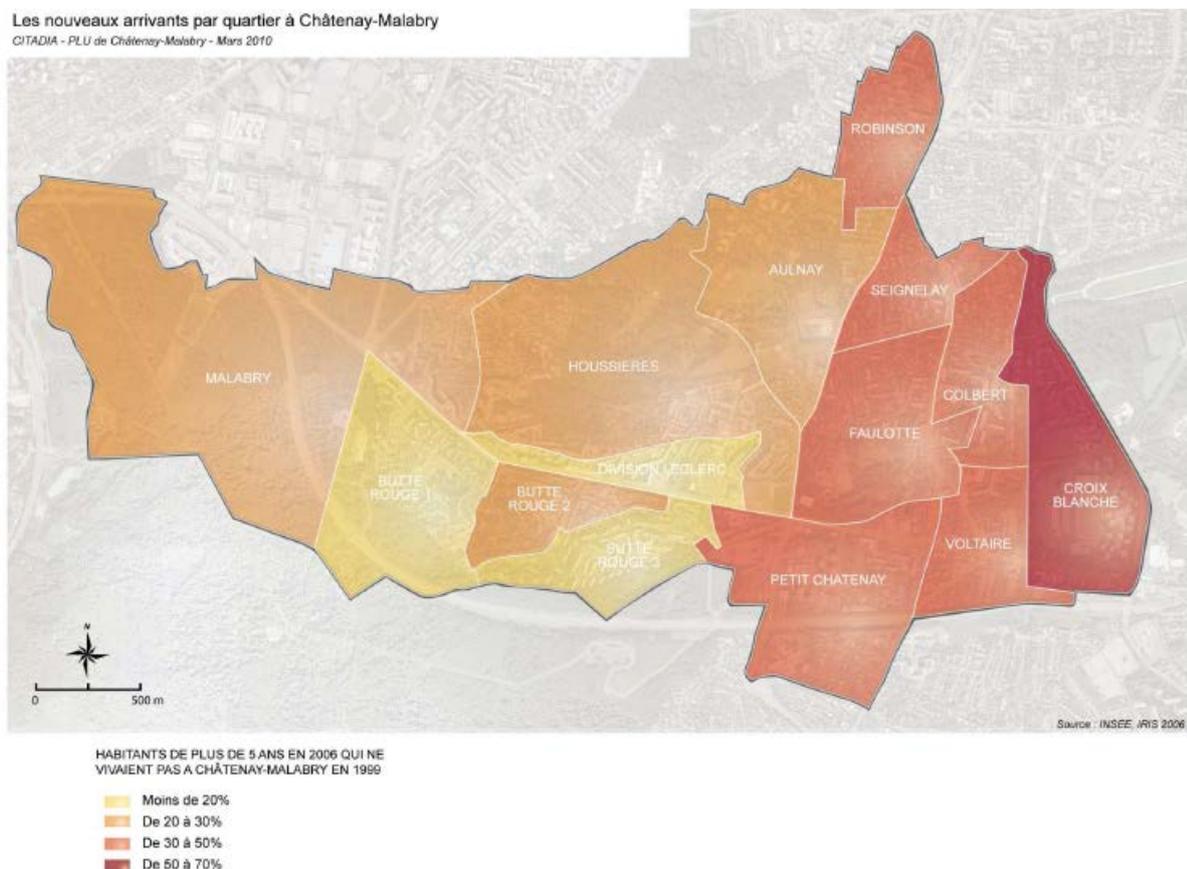


Figure 96: Châtenay-Malabry et ses quartiers avec leur population de nouveaux arrivants en 2009

L'analyse des formes urbaines montre la présence de 11 typologies différentes sur le territoire de Châtenay-Malabry (Cf. Figure 97) :

- L'habitat collectif regroupant les immeubles d'habitat collectif, à la fois sur rue et en cœur d'îlot.

- L'habitat individuel regroupant les logements individuels (spontanés, organisés et groupés) et les grandes propriétés.
- Les zones d'activités industrielles, commerciales, ou de bureaux.
- Les équipements, regroupant tous les bâtiments qui sont à vocation publique et d'intérêt général, dont les équipements scolaires, les équipements de loisirs.
- Les transports avec la gare et les équipements de transport collectif ou privé comme des places de stationnement.
- Bois ou forêt qui correspondent à de la végétation d'arbres, arbustes, buissons pouvant résulter de régénération ou de recolonisation arbustive. Surface composée d'au moins 40 % d'arbres de 5 m de haut (sauf les vergers), y compris les landes arborées.
- Milieux semi-naturels qui regroupent des zones humides, marais, landes non arborées, végétation clairsemée ou herbacée, friches agricoles y compris les jachères et gels pluriannuels, carrières abandonnées avec végétation, terrains de manœuvres, emprises de déboisement des lignes électriques ou aqueducs.
- Espaces agricoles correspondant à des surfaces en herbe sauf les gazons. Principalement pâturées, mais dont le fourrage peut être récolté, y compris celles des centres équestres. On peut y trouver des jachères.
- Eau comprenant les surfaces en eau d'au moins 500 m², y compris les étangs des parcs, les nappes des fonds de gravières et les bassins de rétention.
- Espaces ouverts artificialisés correspondant à des parcs et jardins (publics ou privés) dont la superficie est supérieure à environ 5 000 m². Dans le cas d'une très grande propriété dont une partie est boisée, les diverses composantes sont dissociées (en bois, parc, eau, etc.). Ils peuvent disposer d'équipements pour le public (aire de jeux).
- Carrières, décharges, chantiers correspondant à des chantiers de construction et de démolition.

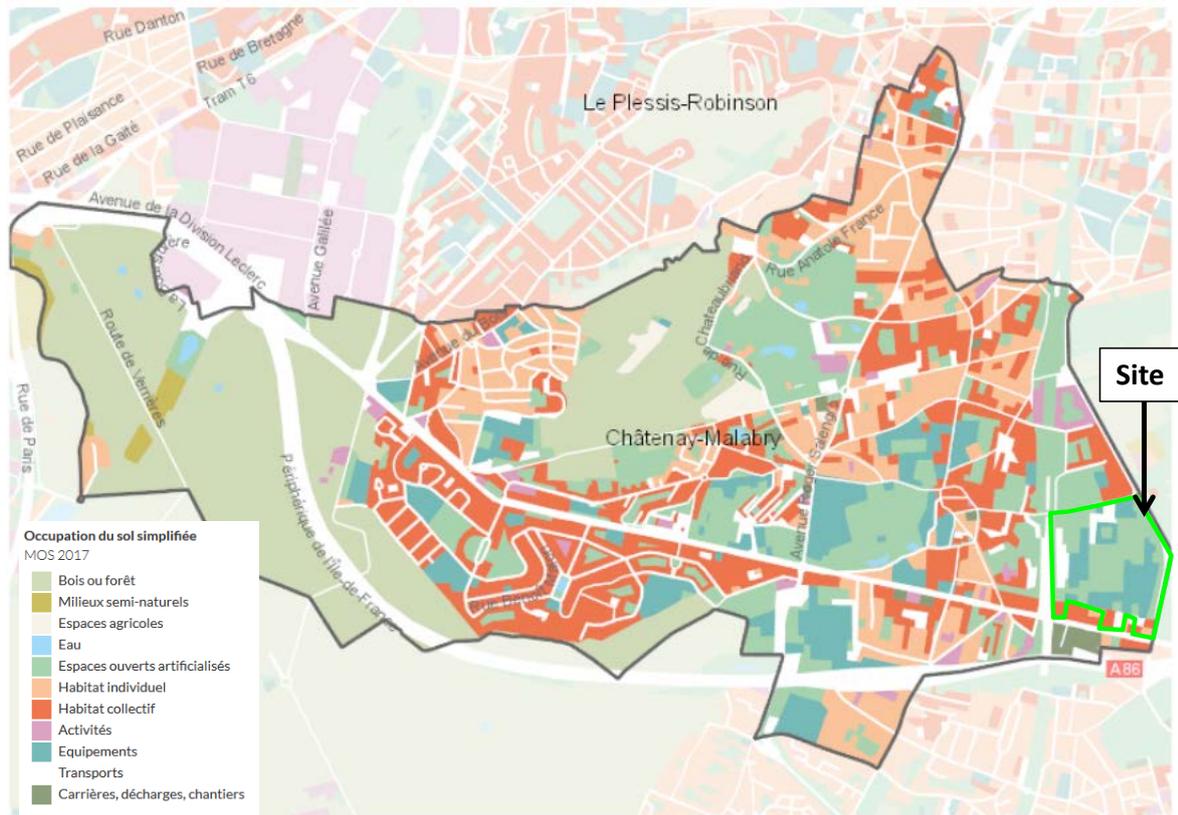


Figure 97: Occupation des sols de Châtenay-Malabry (IAU IDF, 2017)

La période 1990-2006 a vu la construction d'un nombre important de logements neufs. Une grande part des logements de Châtenay-Malabry sont collectifs (86%), la répartition du parc social est néanmoins déséquilibrée selon les quartiers avec notamment la Croix Blanche (quartier auquel appartient la ZAC La Vallée) comptant 50 à 75% de logements sociaux. 60% des logements sur la commune sont en location, la faible part de logements en accession oblige les habitants souhaitant acquérir à se rendre à l'extérieur de la ville pour le faire. Cette faible diversification du parc est une des raisons de la jeunesse de la population.



Figure 98: Type de logements sur la commune (PLU modifié 2017)

La ville cherche dans son plan local d'urbanisme à diversifier son offre de logement en accord avec celle des transports publics pour éviter la fuite des ménages vers l'extérieur et permettre la stabilisation des habitants sur le territoire. Pour dynamiser le foncier, la ville vise aussi à mobiliser le potentiel foncier des sites mutables comme la ZAC La Vallée.

4.3.5.3 Equipements et services

L'offre en équipement est complète et attractive malgré des remises en état à prévoir, notamment sur les équipements sportifs.

Petite enfance et Enseignement

À Châtenay, l'offre en équipements petite enfance se structure autour de 8 établissements spécialisés dont 3 crèches collectives, 2 crèches multi-accueil municipales, 1 crèche parentale, 1 jardin d'enfant et 1 crèche familiale municipale.

Les enfants scolarisés sont au nombre de 3000 dont 1300 en maternelle et 1700 en école élémentaire, Châtenay-Malabry compte 4 écoles maternelles, 4 écoles élémentaires, des groupes scolaires. La commune compte aussi 4 collèges, 1 lycée.

Activités sportives

Les équipements sportifs de la ville sont relativement complets avec 3 terrains de football, 1 boulodrome, 1 terrain de pétanque, 11 courts de tennis, 5 gymnases, 4 structure « J'Sports » et 1 espace omnisport. Cette offre est complétée par une offre non communale avec un gymnase, un haras, 2 terrains de football supplémentaires.

Culture

La ville de Châtenay-Malabry compte une bibliothèque, une médiathèque, un cinéma municipal, un pôle culturel intercommunal avec le théâtre de la piscine et le conservatoire de danse et musique. Il existe aussi 2 musées et certains éléments du patrimoine historique sont ouverts au public.

Santé

Dans le domaine de la santé, la ville bénéficie de la proximité de l'hôpital intercommunal du Plessis-Robinson ou de Clamart. Le territoire de Châtenay-malabry dénombre un centre hospitalier de jour spécialisé dans la lutte contre les maladies mentales, un centre médico-psychologique pour les enfants et adolescents, une clinique, 3 centres de planification familiale, de protection maternelle et infantile (P.M.I), de placements familiaux-éducatifs.

4.3.5.4 Les axes de communication et de transport

Le réseau routier

La ville de Châtenay-Malabry est à l'écart des gares RER mais bénéficie néanmoins d'une bonne desserte grâce à des réseaux de bus performants et des accès routiers d'envergure en cours de renforcement. Cette desserte devrait par ailleurs être renforcée par le projet de tramway sur l'axe de l'avenue de la Division Leclerc (RD986).

La bonne accessibilité du territoire est liée à la desserte assurée par l'axe magistral A86 et le réseau principal radial RD986 avenue de la Division Leclerc, RD63 avenue de Salengro, RD67 avenue de Sully Prudhomme. Cette dernière qui traverse la commune du Nord au Sud a davantage un rôle de distribution à l'intérieur des poches urbanisées qu'un rôle de découverte du paysage communal.

Deux projets d'échangeurs sur l'A86 permettront d'améliorer cette desserte et la potentielle requalification de la RD986 en boulevard urbain permettrait de décongestionner cet axe pour une meilleure cohabitation voiture/bus sur la voirie.

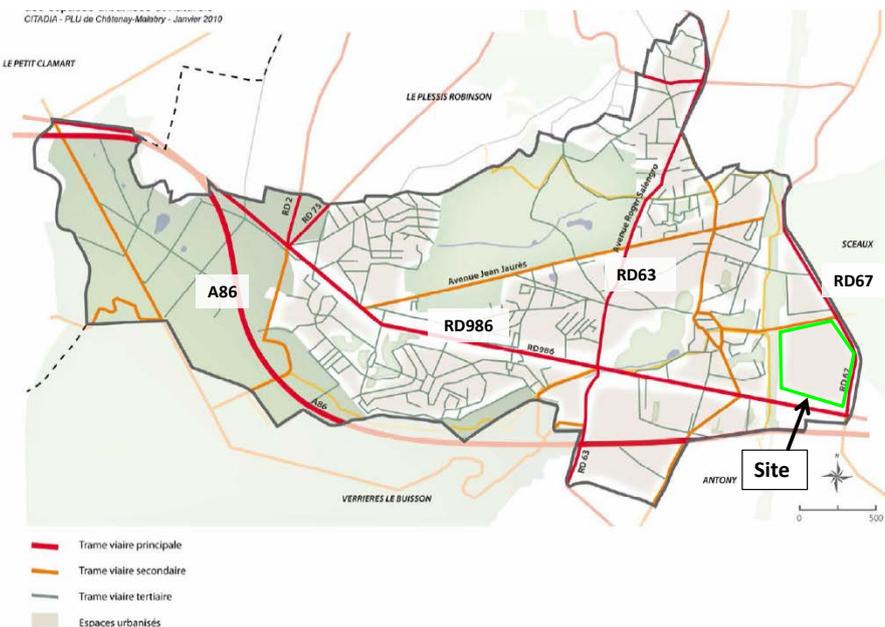


Figure 99: maillage viaire de Châtenay-Malabry

Un réseau dense de petites voies dessert aussi les poches urbanisées mais leur bouclage parfois complexe tend à désorienter l'automobiliste qui se rabat alors sur les artères principales comme la RD986.

Les transports en commun

Deux réseaux de bus desservent Châtenay-Malabry, ils sont axés principalement vers le centre-ville et vers les gares de RER localisées sur les communes de Sceaux et d'Antony.

Le réseau RATP comprend 7 lignes de bus, dont un noctilien. Le réseau Paladin, financé par l'EPT Vallée Sud Grand Paris et Ile de France Mobilités, assure une desserte plus fine depuis 2006 en offrant 4 liaisons non couvertes par la RATP, notamment vers les groupes scolaires.

Un extrait du réseau des bus sur le territoire de la commune est présenté sur la figure ci-dessous.



Figure 100: Réseau de bus à proximité du site de la ZAC La Vallée (Source: Etude d'impact de la ZAC, Even Conseil, Avril 018)

Malgré une bonne couverture du territoire communal, certains secteurs sont insuffisamment desservis avec une offre de bus concentré sur les axes principaux et la fréquence de desserte en soirée est faible à partir de 21h (Cf. Figure ci-dessous).

Une adaptation du réseau Paladin et le projet de TCSP sous forme de tramway permettront de compenser ces points faibles à terme.

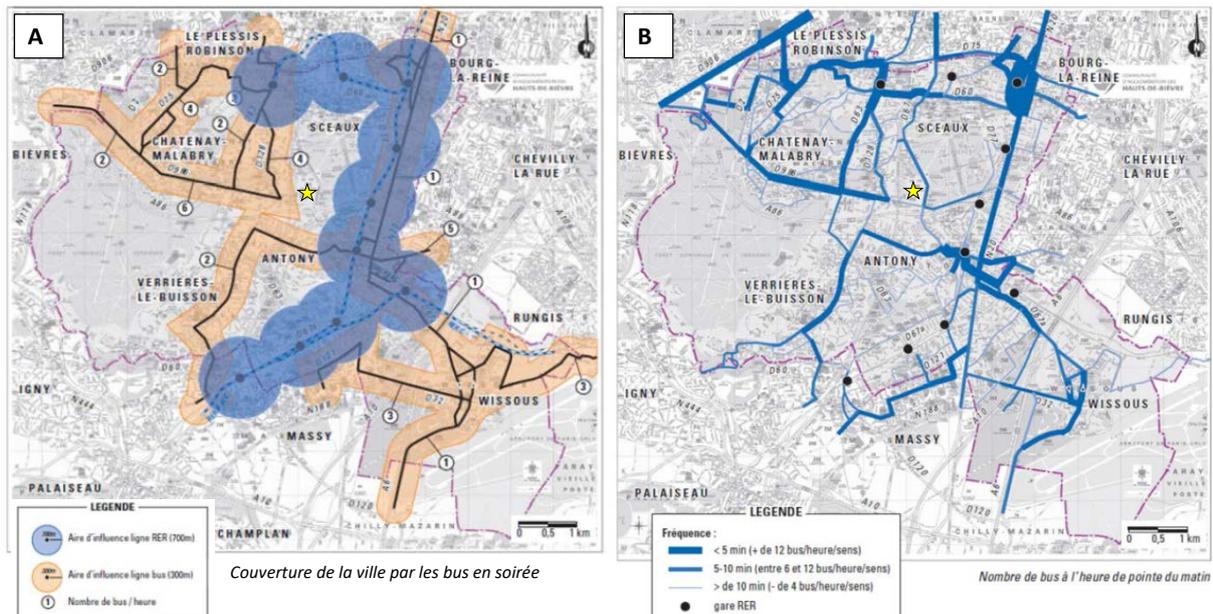


Figure 101: Réseau principal de bus desservant Châtenay-Malabry en lien avec le site (étoile) avec A) couverture en soirée B) couverture en heure de pointe (Source PLU 2017)

Les liaisons douces et développement durable

Le réseau de liaisons douces avec ses bandes cyclables et ses cheminements piétons est discontinu sur la commune, sans maillage particulier pour aider à en clarifier les usages.



Figure 102: Liaisons douces près du site de la ZAC La Vallée (Source: Etude d'impact ZAC La Vallée, Even Conseil, 2016)

Des aménagements sont prévus dans le cadre du Plan Local de Déplacement (Cf. figure ci-dessous) pour développer ce le cheminement doux répondant à des attentes de qualité de vie et de développement durable. Notamment, le Plan d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) du PLU indique une volonté de mieux connecter les quartiers avec l'axe de la Division du Général Leclerc via les modes de transport doux comme le vélo, ainsi que de permettre le développement de relations de proximité entre les différents quartiers avec un meilleur réseau local de liaisons douces. L'offre de stationnement pour 2 roues est aussi en cours d'amélioration.

Un autre axe de développement des liaisons douces se retrouve dans le PADD de la ville avec la création d'une trame piétonne pour découvrir les éléments patrimoniaux et paysagers remarquables relevant de l'identité culturelle du territoire (coulée verte, maison de Chateaubriand, patrimoine vernaculaire).

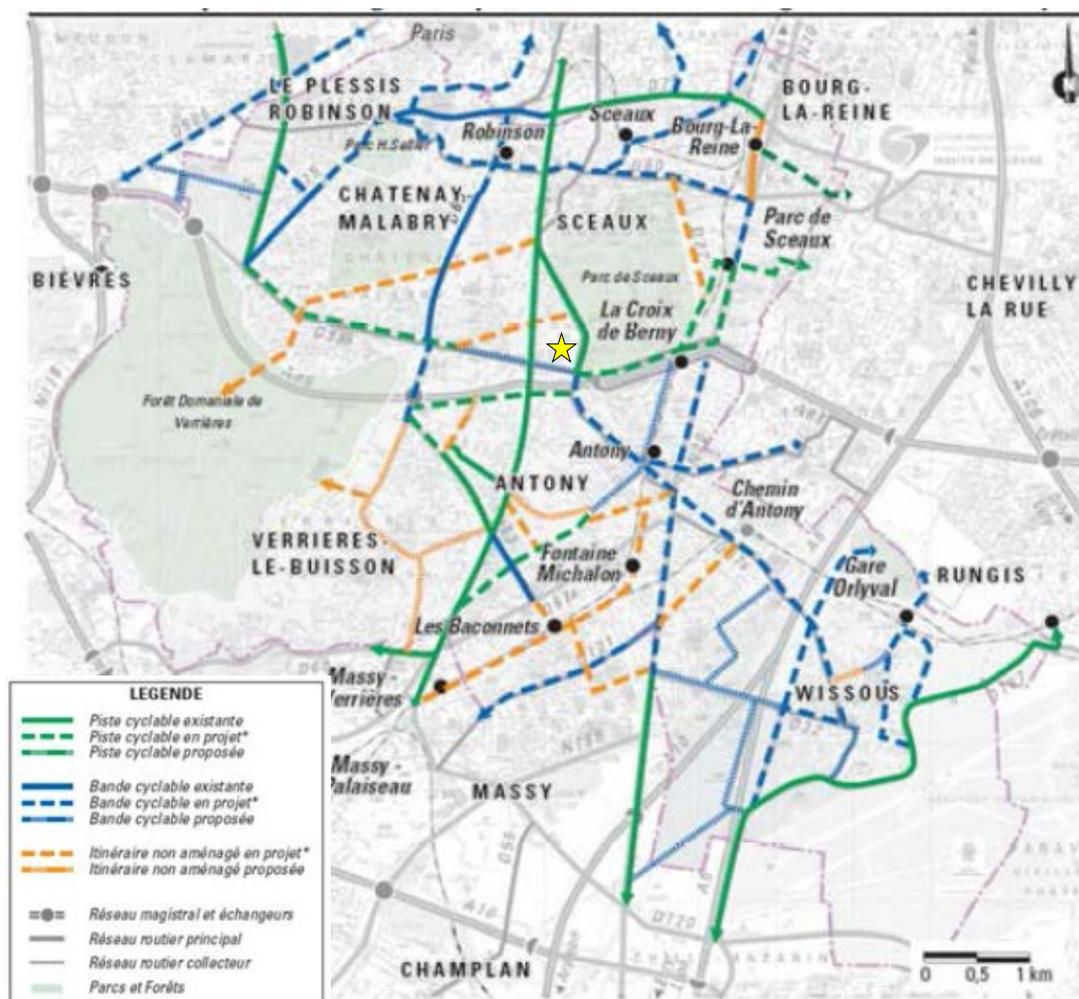


Figure 103: principe d'aménagement su réseau cyclable (source PLU 2017)

En termes de développement durable, les éléments du Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE) de la région Ile-de-France, adopté en Septembre 2013, ont permis de faire ressortir les objectifs suivants:

- Pour la trame verte, préservation des réservoirs de biodiversité, préservation et restauration des corridors de la sous-trame arborée ;
- Pour la trame bleue, restauration des corridors alluviaux en contexte urbain (fleuves et rivières) et préservation et/ou restauration des cours d'eau et des milieux humides;

Sur la commune de Châtenay-Malabry, la trame verte est identifiée par :

- la forêt de Verrières et le parc des Sceaux en tant que réservoirs de biodiversité.
- Le parc de la Vallée aux Loups, une partie de la forêt de Verrières et des espaces verts autour du site de la ZAC La Vallée, la coulée verte du sud parisien en tant que secteurs d'intérêt écologique.
- Un corridor écologique dans la forêt de Verrières.

Le PADD de la ville traduit ces objectifs du SRCE en visant le renforcement de l'armature végétale existante et le développement de la trame verte reliant les grands espaces paysagers entre eux et assurant des fonctions écologiques et récréatives. La ville vise aussi à permettre le maintien de la biodiversité en zone urbaine en créant des espaces verts plantés adaptés au territoire dans les nouveaux projets d'aménagement et en envisageant le développement de biotopes adaptés pour lutter contre la perte de la biodiversité

Ainsi, le périmètre du projet est proche d'un axe de renforcement de continuité écologique, de préservation de la biodiversité en zone urbaine et d'une zone où les nuisances sonores sont à limiter (Cf. figure ci-dessous).

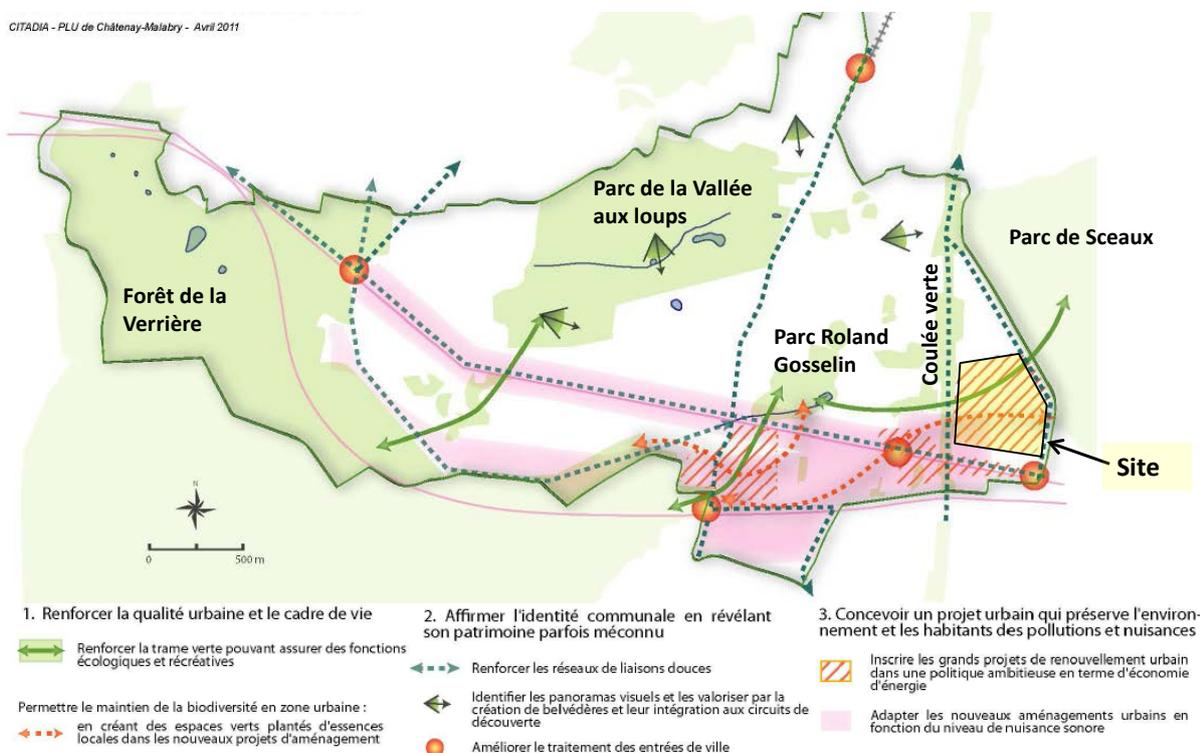


Figure 104: Orientations du PADD pour un territoire vert réduisant la pression de l'urbanisme sur l'environnement

Par ailleurs, l'établissement public territorial Vallée Sud-Grand Paris a lancé la démarche du montage d'un Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) en Novembre 2017. Un diagnostic est en cours pour évaluer les moyens qui permettront au territoire Vallée Sud – Grand Paris de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de s'adapter au changement climatique, de promouvoir la sobriété énergétique, d'améliorer la qualité de l'air et développer les énergies renouvelables.

Pour accompagner et préciser la mise en œuvre des orientations du PADD, une OAP a été définie dans le PLU pour répondre à des enjeux particuliers du développement de l'ancien site de l'Ecole Centrale. **Le site du projet de géothermie est situé dans la zone d'Orientation d'Aménagement et de Programmation (OAP) Centrale.** Cette zone est vouée à la création d'un éco-quartier ouvert sur la ville et les espaces verts,

notamment le parc de Sceaux et la Coulée Verte. Les orientations particulières à cette zone lui permettront d'accueillir des logements collectifs, des bureaux, des services ainsi que des espaces et équipements publics.

La création du quartier étant en cours, le site où s'inscrit le projet de géothermie est en constante évolution et son environnement au moment des travaux et de l'exploitation de l'installation de géothermie sera différent de l'état actuel.

4.3.5.5 Activités économiques

Châtenay-Malabry est situé à l'interface de pôles d'activités importants de l'intercommunalité, son développement économique se renforce progressivement. Les espaces d'activités majeurs sont aujourd'hui implantés à proximité de Châtenay-Malabry, dans des communes voisines : Antony, Plessis- Clamart, Rungis...Le pôle du Plessis- Clamart regroupe 8600 emplois, et celui d'Antony 12 000.

A Châtenay-Malabry, le tissu économique est plutôt constitué d'activités disséminées essentiellement le long de la RD 986 : c'est-à-dire à proximité directe du site étudié. Il existe tout de même une zone d'activité économique « Centrale Parc » déclarée d'intérêt communautaire par l'ancienne CA, et le projet de requalification de la zone Europe laisse entrevoir des possibilités de développement économique supplémentaire.

En 2016, la ville comptait 65,1% d'actifs ayant un emploi, 3,6% de retraités, 8,7% de chômeurs et 16,5% d'étudiants ou élèves.

L'appareil commercial de Châtenay-Malabry est situé dans un contexte concurrentiel fort, tant au niveau des grands équipements commerciaux qu'au niveau des commerces de proximité. De grands centres commerciaux attractifs sont accessibles à moins de 15 min en voiture, notamment Vivre/Usine Center à Vélizy, le centre commercial de Vélizy et Belle Epine à Thiais.

Les linéaires commerciaux s'articulent le long des principaux axes : l'avenue Jean Longuet en centre-ville et l'avenue de la Division Leclerc entre la rue Henri de Latouche et le chemin de la Justice.

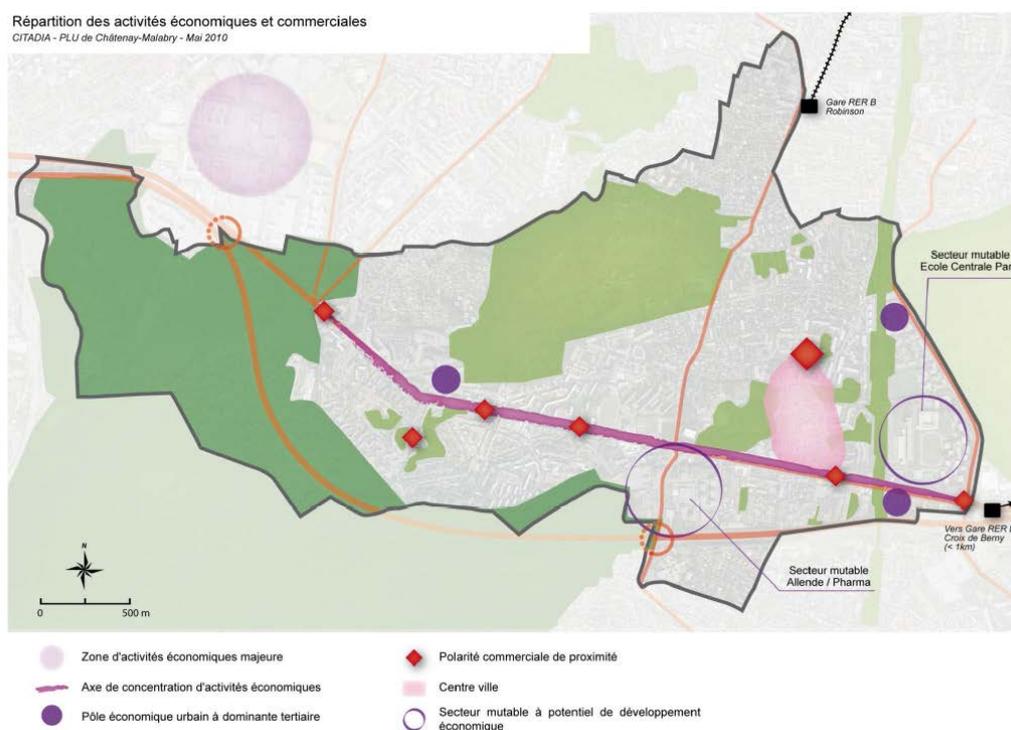


Figure 105: Zones d'activités économiques sur le territoire et ces principaux pôles (PLU Chatenay)

4.3.6 Monuments classés

Parmi les éléments historiques les plus significatifs, on retrouve les traces de l'ancien Château fort de la Boursidière dans la partie Nord de la forêt de Verrières, l'église Saint Germain l'Auxerrois, le château de la petite Roseaie, le pavillon Colbert, la maison de Châteaubriand, la borne royale Louis XV le long de l'avenue de la division Leclerc.



Château de la Roseaie



Maison de Chateaubriand Parc de la vallée aux loups



Eglise Saint-Germain de l'Auxerrois

Figure 106: Exemples d'édifices classés sur la commune (PLU 2017)

Le patrimoine bâti historique comporte aussi des éléments, comme la cité jardin de la butte rouge, issus du courant architectural de l'entre deux guerres qui visait à mettre la ville à la campagne.

Le patrimoine bâti remarquable de la commune est repéré sur la figure ci-dessous, il est concentré dans le centre ancien et dans le parc de la vallée aux loups.

Le site de la ZAC ne comporte pas de patrimoine bâti mis en valeur par des protections spécifiques. Néanmoins, plusieurs sites sont inscrits et classés dans ses alentours (parc de Sceaux et ses perspectives, parc Roland Gosselin), des monuments historiques sont aussi présents comme le domaine de Sceaux, l'église Saint Germain l'Auxerrois, le domaine de la Petite Roseaie, le Pavillon Colbert. Une Zone de Protection du Patrimoine Architectural, Urbain et Paysager (ZPPAUP), située dans la ville de Sceaux est aussi répertoriée.

Le site s'inscrit ainsi dans les périmètres de protection de deux monuments historiques (Cf. Figure 108), le domaine de Sceaux et l'église Saint Germain l'Auxerrois, ce qui implique de porter une attention particulière à la qualité architecturale et à l'insertion du projet de géothermie dans le site. Ces conditions particulières sont reprises dans le cahier des prescriptions architecturales, urbaines, paysagères et environnementales de la ZAC La Vallée.

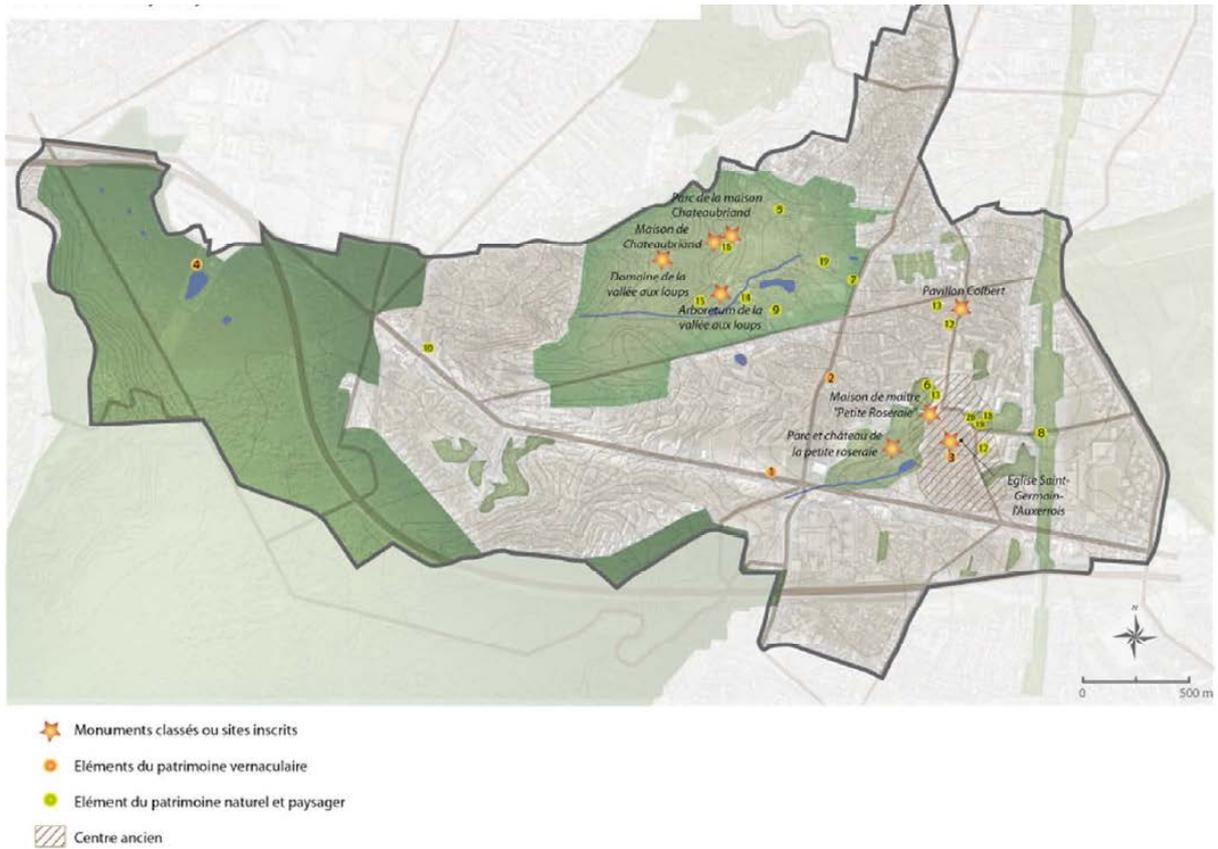


Figure 107: Patrimoine bâti remarquable de Châtenay-Malabry (Source: PLU 2017)

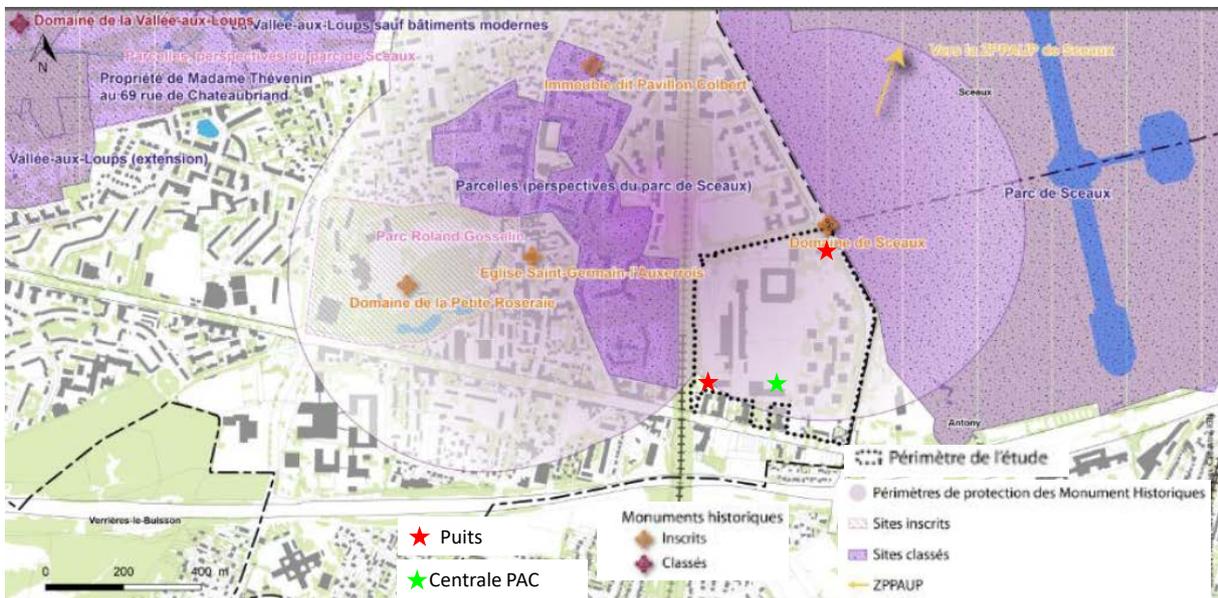


Figure 108: Périmètres de protection, sites inscrits et classés près du site de géothermie (Source : Etude d'impact ZAC, Even Conseil, Février 2016)

4.3.7 Les espaces verts

Les espaces verts se déclinent par la présence de massifs boisés (Verrières, Vallée aux Loups), de grands parcs (Hôtel de ville, Leonard de Vinci, Souvenir français, Paul Vaillant Couturier, Henri sellier, Colbert), d'alignements d'arbres, de jardins dans plusieurs propriétés de l'Aulnay, de liaisons douces (coulée verte reliant Massy à Malakoff) comme illustré sur la figure-ci-dessous.

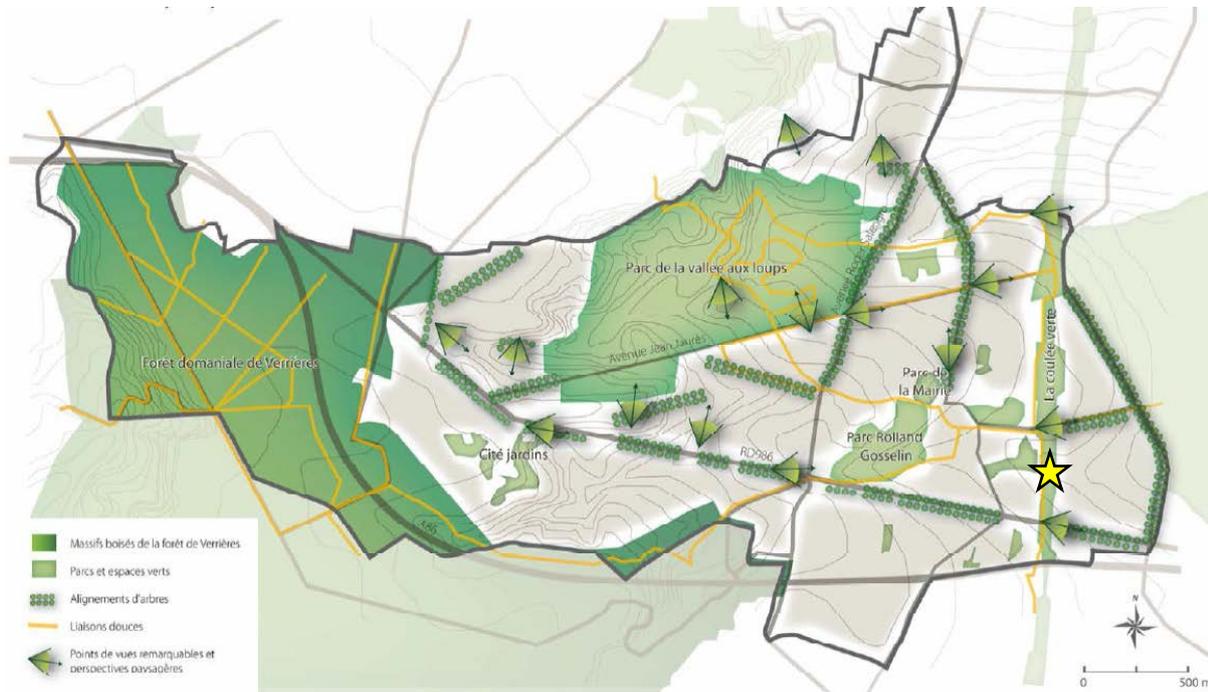


Figure 109: Patrimoine vert sur la commune et repérage du site (étoile) (Source: PLU Châtenay-Malabry)

Châtenay-Malabry se caractérise par un taux de végétation de 63% (soit environ 402 ha de masses vertes) dont 318 ha de parcs, squares, jardins, forêts ou autres zones boisées (Cf. Figure ci-dessous). La forêt de Verrières est un vaste cadre arboré mais elle reste peu accessible aux quartiers malgré l'existence de promenades. Le parc de la vallée aux Loups s'insère plus dans le tissu urbain.

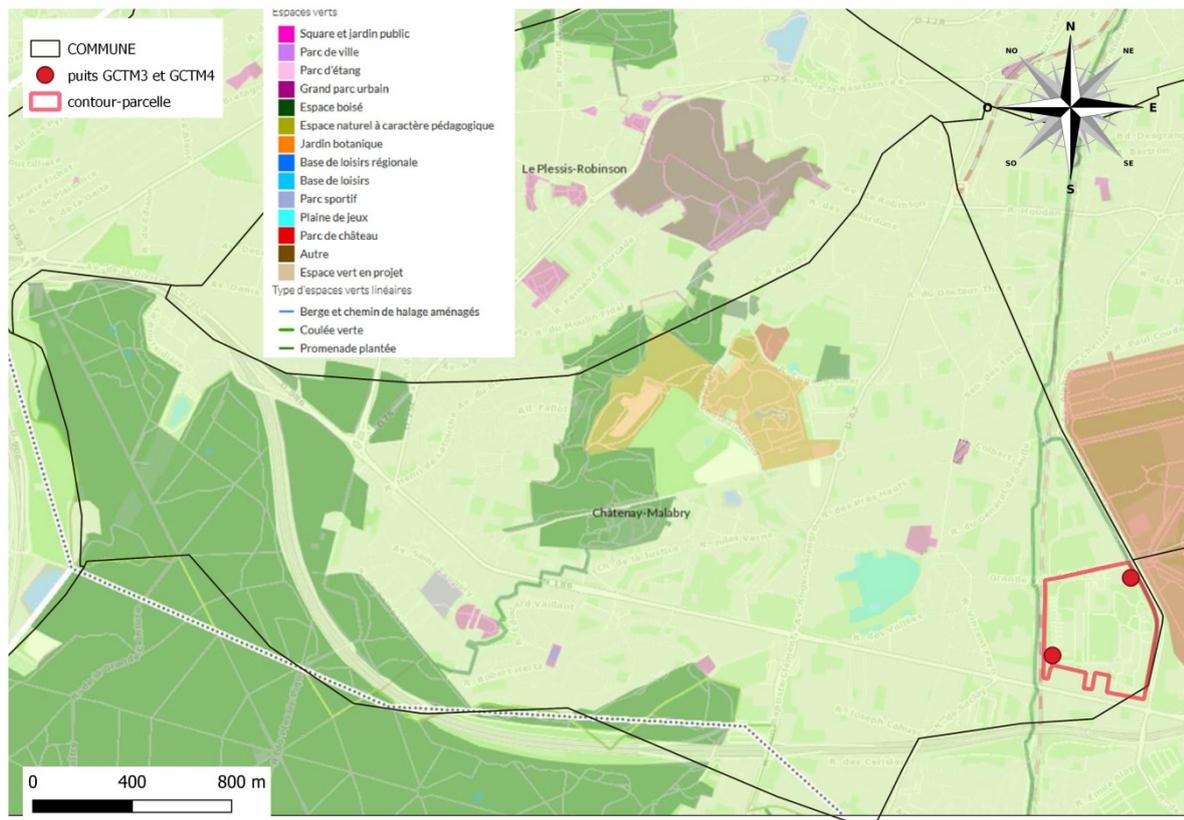


Figure 110: Espaces verts de la commune (Source : www.lau.idf)

4.3.8 Situation et description du site d'implantation du projet de Châtenay

4.3.8.1 Situation cadastrale et plan d'occupation des sols

Le site d'implantation du futur doublet forage géothermique profond au Lusitanien est envisagé dans le quartier Croix Blanche. Il est situé sur le site de la ZAC La Vallée, avec le site du puits de production au Sud-Ouest de la ZAC et le site du puits d'injection au Nord-est de la ZAC.

Le site du puits d'injection prendra place sur les parcelles n°124 (11 523 m²), n°127 (76 850 m²) et n°133 des feuilles 000 AF 01.

Le site du puits de production prendra place sur les parcelles n°51 (16 670 m²) de la feuille 000 AL 69 (Cf. Figures ci-dessous).



Figure 111: Site d'implantation du chantier de Châtenay-Malabry avec les parcelles castrales (geoportail IGN)

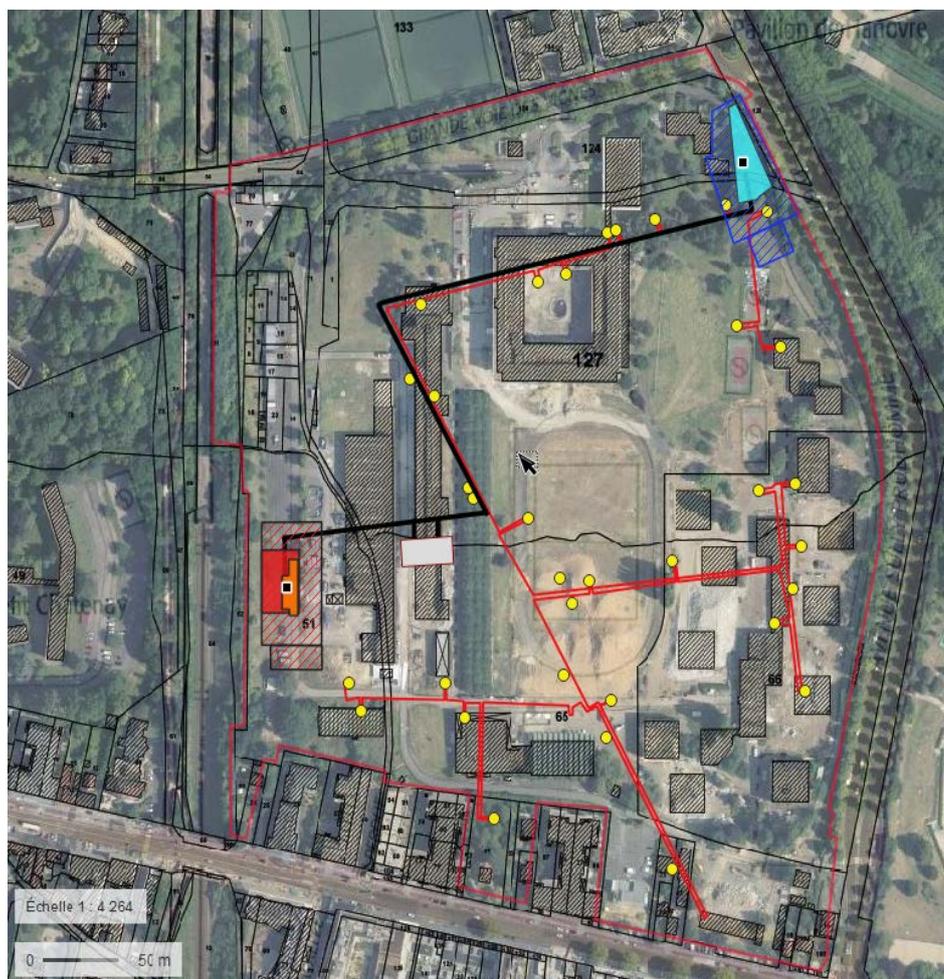


Figure 112: Emprises des zones chantier et exploitation des forages (geoportail IGN)

La surface prévisionnelle totale, utilisée pour l'implantation de la machine de forage et dédiée au chantier, est de 3 000 m² environ pour chaque puits, non compris une aire de stockage de 500 m².

La réalisation d'un puits géothermique au Lusitanien nécessite autour de la tête de puits une aire idéalement vierge de végétation et de construction, horizontale et traitée en voirie lourde. A l'issue des travaux, une aire de « servicing » idéale de 1 000 m² doit être ménagée autour des têtes de puits pour en assurer la maintenance.

L'accès au site se fera via les avenues de la Division Leclerc et Sully Prudhomme et de la rue Grande voie des Vignes.

Dans le PLU de Chatenay-Malabry, le site du projet appartient à la zone UEC qui est dédiée à la création de l'éco-quartier de La Vallée. Le PLU indique que cette zone fait l'objet d'une Opération d'Aménagement Programmée. Le projet de forage du doublet géothermique et l'exploitation géothermique de Chatenay-Malabry sont compatibles avec les conditions d'occupation et d'utilisations décrites aux chapitres de la zone UEC du règlement du PLU 2019.

Les contraintes principales de ce site sont constituées par :

- les deux avenues qui doivent rester accessible dans les deux sens aux usagers,
- l'intégration des futurs bâtiments et la concomitance des travaux d'aménagement de la ZAC,
- la présence d'habitations au sud de la parcelle n°51.

L'orientation des têtes de puits et de la machine de forage, proposée par CFG, tient compte de la circulation nécessaire autour de la machine et l'anticipation de la création des immeubles de la future ZAC.

4.3.8.2 Description du site et travaux prévus avant démarrage des travaux de forage

Le site de la ZAC est repéré sur la figure ci-dessous avec les sites des principaux éléments du projet de géothermie repérés par les numéros 1, 2 et 3. Les images correspondent à des prises de vue de Google Map.

Pour le puits de production (1 sur la Figure ci-dessous), le site est composé essentiellement d'un talus enherbé, d'une voirie, de déblais de chantier et des arbres remarquables à conserver.

Au niveau du futur bâtiment de la PAC (2 sur la Figure ci-dessous), le bâtiment adjacent a été détruit, le gymnase est conservé, le terrain est constitué essentiellement d'une voirie et de déblais de chantiers.

Au niveau du site d'injection (3 sur la figure ci-dessous), le site est composé essentiellement d'arbres isolés et de déblais de chantier.



Figure 113: Situation actuelle du site d'implantation du chantier

4.3.9 Propriétés foncières

La délibération du conseil municipal de Châtenay-Malabry du 11 mai 2017 autorise le Maire à céder le terrain de la ZAC à la SEMOP. Les parcelles appartiennent à l'aménageur soit la SEMOP La Vallée. Les infrastructures spécifiques au réseau de chaleur (chaufferie centralisée) seront propriété de Flowergy Châtenay-Malabry et seront cédées à l'ASL à l'issue du contrat. Les voiries et les parcelles associées à l'espace public seront ultérieurement rétrocédées à la Ville de Châtenay-Malabry, dont les emprises des puits ; des autorisations temporaires de l'espace public seront réalisées pour les interventions ultérieures sur les puits. Les parcelles associées aux sous-stations resteront dans la propriété de chacune des copropriétés concernées.

Les parcelles n°51, n°124 et n°127 et n°133 font partie des terrains de l'Ecole Centrale acquises par la SEMOP (Cf. Figure ci-dessous et Annexe 7.6)

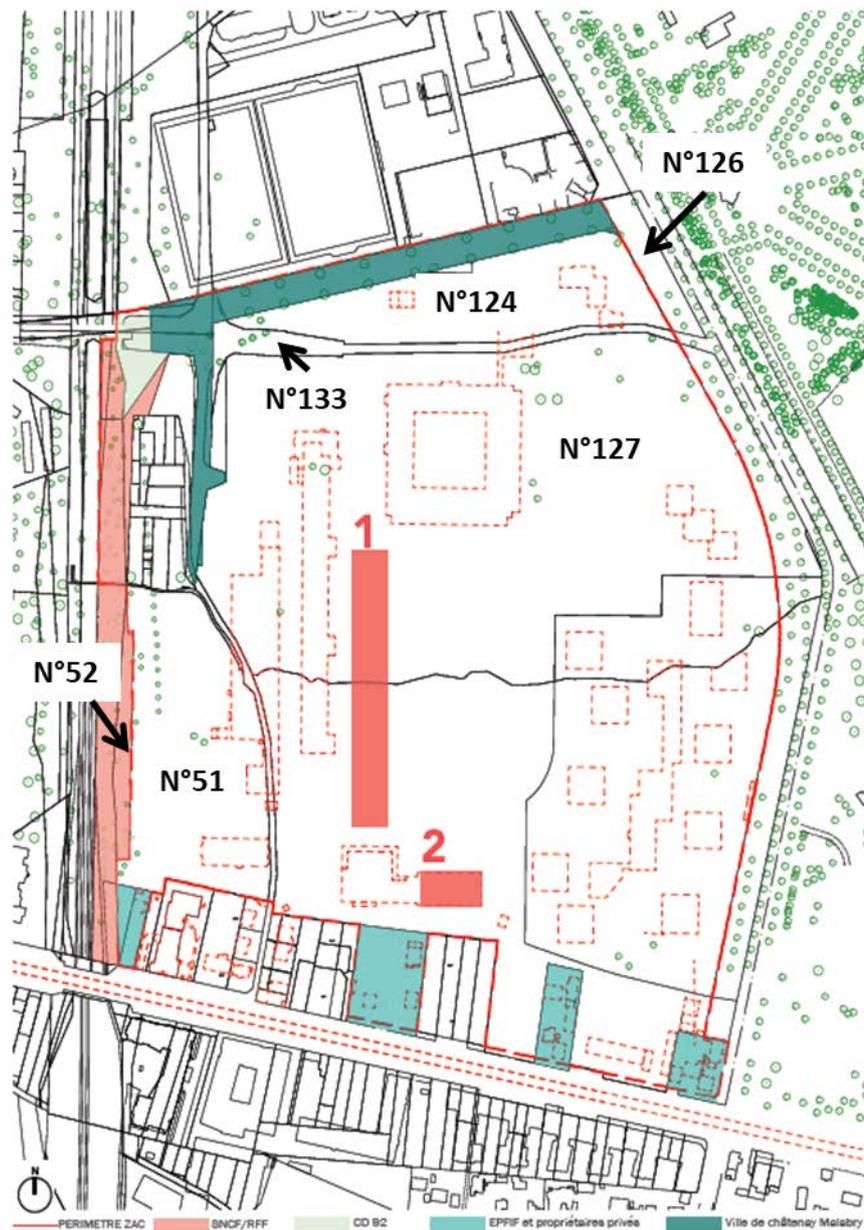


Figure 114: Foncier et éléments conservés (1 : allée des tilleuls et 2 : gymnase) de l'Ecole Centrale (Source: cahier des prescriptions architecturales de la ZAC)

4.3.10 Projets situés à proximité du site

Le site du projet de géothermie est inclus dans la ZAC La Vallée qui est en cours d'aménagement.

Le programme prévu sur la ZAC est mixte (Cf. Figure ci-après) avec la réalisation d'opérations neuves de promotion privée en 18 lots (hors équipements scolaires). La programmation des lots est à dominante résidentielle avec une part conséquente de rez-de-chaussée commerciaux. L'activité commerciale est prévue sur le cours des commerces et sur la place de l'Europe. Des parkings publics sont aussi prévus pour répondre à la demande créée par la construction des nouveaux logements et des commerces.

Des espaces bureaux sont aussi prévus et feront vivre le quartier toute la journée.

La commune réalisera aussi sur la ZAC un groupe scolaire de 22 classes, le département réalisera un collège avec une capacité de 700 élèves et un gymnase (en violet sur la figure B ci-dessous).



Figure 115: Quatre identités de quartier (A) et Plan d'occupation des sols (B) de la ZAC La Vallée en fin d'aménagement

Etant donné la taille de l'aménagement, celui-ci a été découpé par phases débutant en 2017 et finissant en 2028 (Cf. figure ci-dessous).

La zone du puits de production est prévue pour être aménagée au 2^{ème} semestre 2022, les lots de bâtiments les plus proches du site ne seront livrés qu'en 2028. Pour le site du puits d'injection, la zone est prévue pour être aménagée en 2024-2026 avec les bâtiments livrés après la construction du puits.

De 2017 à 2019, le désamiantage des bâtiments a été réalisé, les bâtiments existant ont été démolis, les travaux de voirie ont commencé, tout comme les chantiers de construction et la réalisation des espaces publics comme la promenade plantée, la place de l'Europe, le parvis des écoles et l'allée du Parc.

A l'issue de l'aménagement de la ZAC, le plan de masse de la ZAC prévoit un environnement de ferme urbaine bordée par un talus et des habitations autour du puits de production et de lieu de rencontre (place) bordé d'habitations et de l'avenue de Sully pour le puits d'injection (Cf. Figure 117).



Figure 116: Phasage de livraison des différents lots et chantier de forage des puits



Figure 117: Plan de masse de la ZAC prévu en fin d'aménagement avec situation de puits de géothermie.

4.3.11 Equipements et habitations situés à proximité du site

Dans un rayon de 50 m autour des têtes de puits (Cf. Figure 118), onze parcelles sont concernées par le futur projet:

- Pour le site du forage de production :
 - La parcelle n°51 accueillant la plus grande partie du chantier de forage et la zone de service du puits libre de construction pour l'exploitation. Elle comporte une zone de talus enherbé, des parkings, une voirie de desserte, des arbres à conserver d'après le cahier des prescriptions pour la ZAC.
 - La parcelle n°52, accueillant une frange de la plateforme de chantier et constituée d'un talus.
 - La parcelle n°54 correspondant à la voie de chemin de fer
- Pour le site du forage d'injection :
 - Les parcelles n°124 et n°126 accueillant la plus grande partie du chantier sont composées essentiellement d'espaces verts, de bâtiments comme « la maison du projet » ou non encore démolis pour l'aménagement.
 - La parcelle n°126 accueillant une frange du chantier et composée principalement d'alignement d'arbres, de l'avenue Sully Prud'homme et du rond- point joignant la rue des Vignes à l'avenue de Sully
 - La parcelle n°1 du Parc de Sceaux comprenant près du site des espaces verts et le pavillon de Hanovre (à 90 m de la tête de puits du puits d'injection).

Selon l'article L.153-2 du Code Minier, le futur maître d'ouvrage n'est pas tenu d'obtenir le consentement des propriétaires des habitations situées dans un rayon de 50 mètres autour des futures têtes de puits pour pouvoir débiter les travaux de forage.

Il est néanmoins d'usage d'informer les propriétaires des parcelles concernées.

Dans un rayon de 300 mètres (Cf. Figure 119), six types d'environnements peuvent être remarqués :

- Les zones d'habitat collectif
- Les zones d'habitat individuel
- Les zones d'activité (commerces, bureaux)
- Une zone d'équipement (un stade, les locaux de l'Ecole Centrale ont été démolis à l'intérieur du périmètre de la ZAC)
- Les zones d'espace ouvert artificialisé (parcs, surfaces engazonnées avec ou sans arbustes, terrains de sport en plein air)
- Une zone de chantier

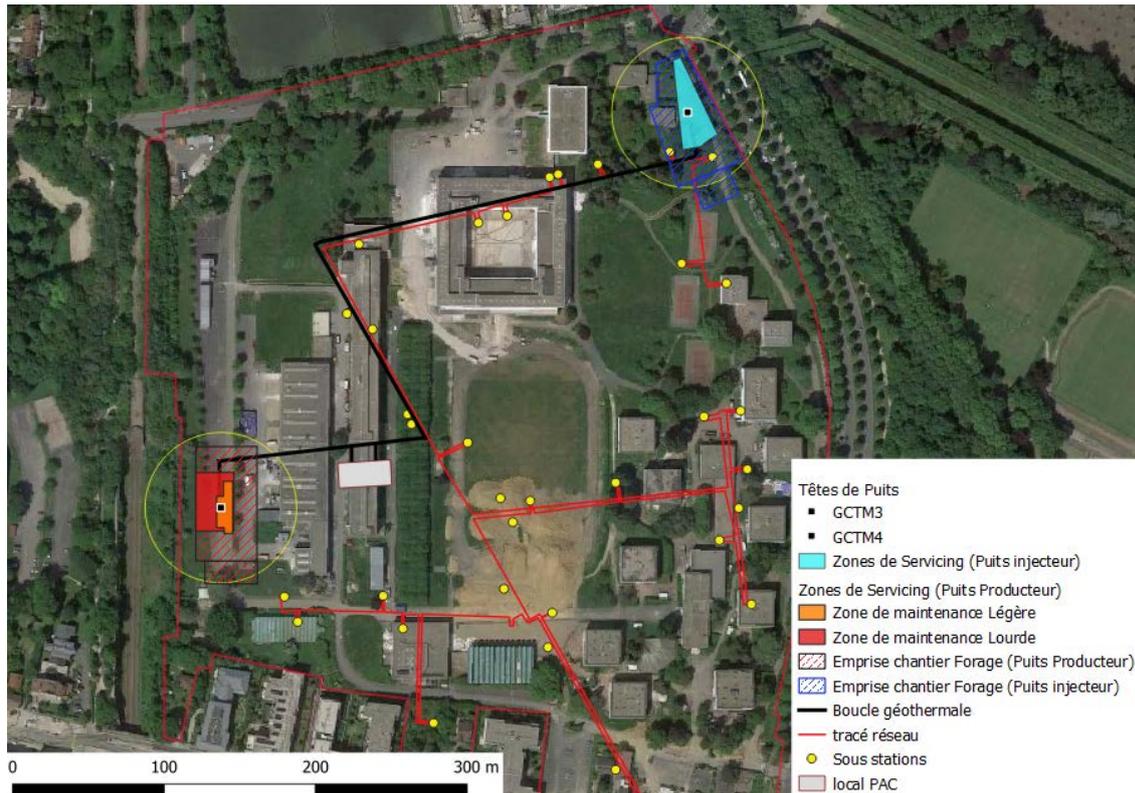


Figure 118: Environnement du site dans un rayon de 50 m autour des futures têtes de puits



Figure 119: Environnement du site dans un rayon de 300 m (plan d'occupation des sols 2017, IAU-idf)

4.3.12 Inventaire du Patrimoine Naturel

La commune de Châtenay-Malabry bénéficie d'un environnement naturel riche et varié, notamment grâce à la présence de :

- La forêt domaniale de Verrières dont plus 125 ha recouvrent la partie ouest de la commune
- Le parc de la Vallée aux Loups qui occupe le cœur du territoire communal
- Les espaces verts et la cité-jardin de la Butte Rouge avec ses cheminements et ses placettes
- Le parc du CREPS (16,9 ha) situé dans le centre ancien de la commune
- Le domaine des anciennes pépinières CROUX (11,3 ha)

La faune et la flore de la vallée aux Loups comptent 45 espèces d'oiseaux, de petits mammifères, un arboretum paysager avec des collections rares dont un cèdre bleu de l'Atlas pleureur, classé arbre remarquable. La forêt de Verrières est encore plus diversifiée avec oiseaux, batraciens, crustacés, petits mammifères et une grande variété d'espèces d'arbres comme le chêne, le châtaignier, le frêne, le charme, le bouleau et le pin sylvestre.

L'Inventaire National du Patrimoine Naturel distingue 308 espèces indigènes sur les 346 espèces de flore présentes sur le territoire communal, 16 espèces sont considérées remarquables. Concernant la faune, 8 espèces d'odonates sont repérées ainsi qu'une espèce de Lépidoptère (le Grand Paon de nuit). Six espèces amphibiens (Crapauds, grenouilles, Tritons) sont répertoriées dont 5 sont protégées. Deux espèces de mammifères sont mentionnées sur la commune, la Belette et l'Ecureuil Roux, ce dernier étant protégé à l'échelle nationale.

4.3.12.1 Usage de l'eau et milieux aquatiques

La commune et le site d'implantation du chantier de forage sont concernés par le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de la Bièvre. Le SAGE est un document qui fixe les règles générales pour les différents usages de l'eau et la gestion des milieux aquatiques à l'échelle du bassin versant ou d'une rivière. Ce SAGE est inclus dans le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Seine-Normandie (Cf. Figure 120).

La compatibilité du projet avec les documents de planification des grands principes de la loi sur l'eau (3 janvier 1992) est traitée en détail dans le paragraphe 4.4.15.

SAGE DU BASSIN DE LA SEINE ET DES COURS D'EAU COTIERS NORMANDS - DECEMBRE 2018

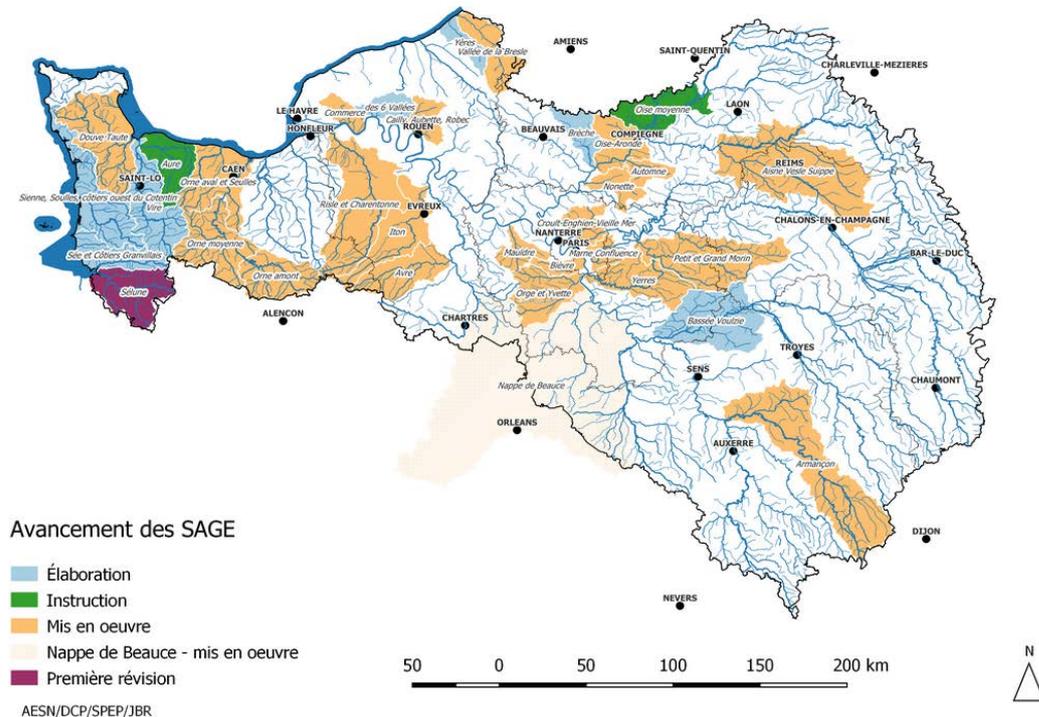


Figure 120: Périmètre du SDAGE du bassin Seine-Normandie et de ses SAGE (<http://gesteau.eaufrance.fr>)

4.3.12.2 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF)

Dans le secteur d'étude, plusieurs Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) sont présentes. La localisation de ces ZNIEFF est reportée dans la Figure 121. Ne sont traitées dans ce chapitre que les ZNIEFF situées à moins de 5 km du futur chantier de forage, distance à partir de laquelle il peut être considéré que l'impact du chantier sera nul.

Le ministère en charge de l'environnement définit, par la circulaire n° 91-71 du 14 mai 1991, une ZNIEFF comme « un secteur du territoire particulièrement intéressant sur le plan écologique, participant au maintien des grands équilibres naturels ou constituant le milieu de vie d'espèces animales et végétales rares, caractéristiques du patrimoine naturel régional. On distingue deux types de ZNIEFF :

- les ZNIEFF de type I, d'une superficie généralement limitée, sont définies par la présence d'espèces, d'associations d'espèces ou de milieux rares, remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel national ou régional ;
- les ZNIEFF de type II sont des grands ensembles naturels riches et peu modifiés, ou qui offrent des potentialités biologiques importantes. Les zones de type II peuvent inclure une ou plusieurs zones de type I. »

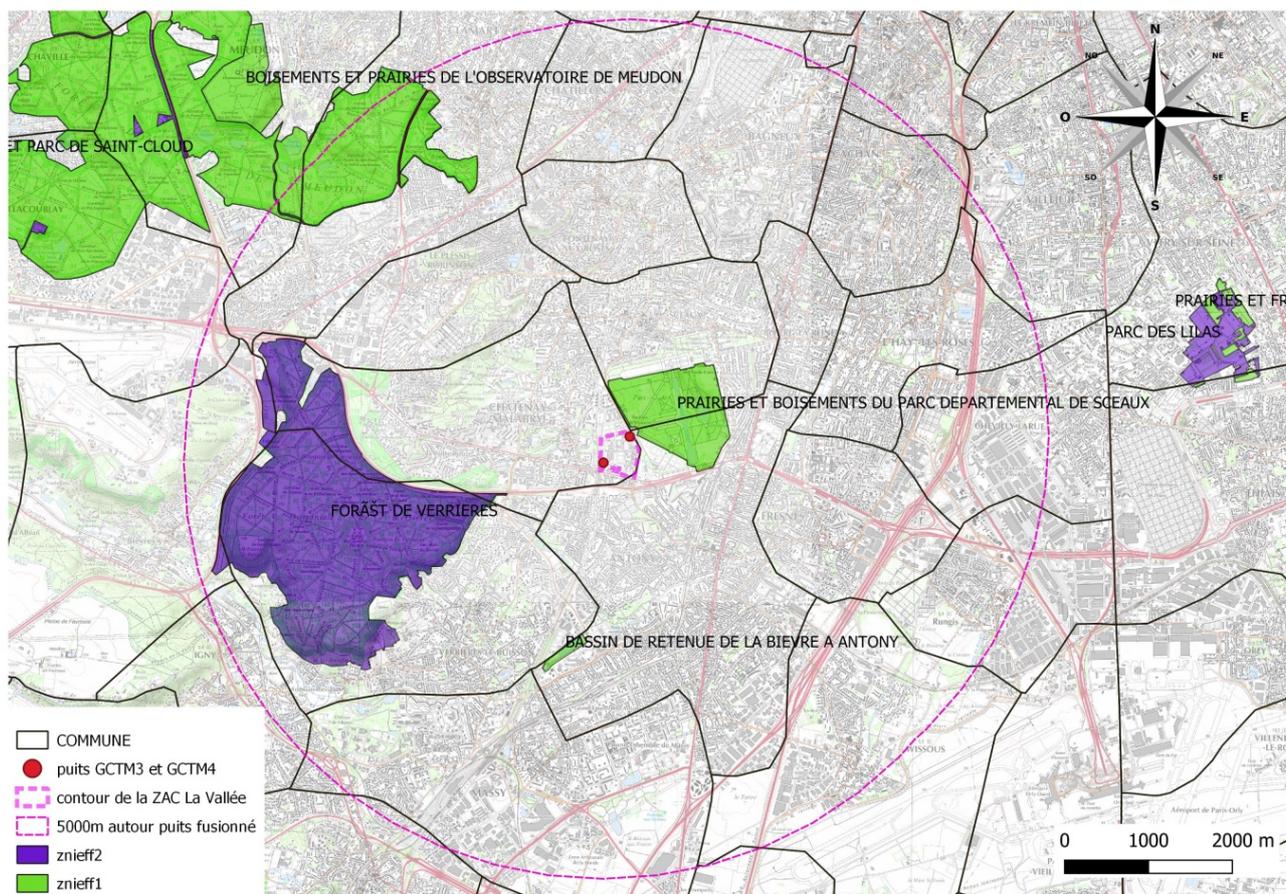


Figure 121: Zones naturelles ZNIEFF dans le secteur d'étude

L'inventaire ZNIEFF est un outil d'aide à la décision en matière d'aménagement du territoire vis-à-vis du principe de la préservation du patrimoine naturel, cependant il ne constitue pas une mesure de protection juridique. L'existence d'une ZNIEFF repose en grande partie sur la présence d'espèces ou d'associations d'espèces à fort intérêt patrimonial.

Dénomination	Type	Référence	Superficie (ha)	Distance par rapport au site
FORÊT DE VERRIERES	2	110001762	608,7	1200 m
FORETS DOMANIALES DE MEUDON ET DE FAUSSES-REPOSES ET PARC DE SAINT-CLOUD	2	110030022	179,5	3510 m
BASSIN DE RETENUE DE LA BIEVRE A ANTONY	1	110001631	0,7	2080 m
PRAIRIES ET BOISEMENTS DU PARC DEPARTEMENTAL DE SCEAUX	1	110020469	118,3	90 m
FORET DE MEUDON ET BOIS DE CLAMART	1	110001693	173,8	3530 m

Tableau 33 : Liste des ZNIEFF à proximité de la commune

La liste des espèces présentes dans les ZNIEFF les plus proches sont rapportées dans les fiches descriptives de chaque site ZNIEFF en annexe (Cf. Annexe 7.9) du présent document. Dans un rayon de 5 kilomètres autour du site, les ZNIEFF sont les suivantes :

Les ZNIEFF de type 1 « Espèces » :

- **Prairie et boisements du parc départemental de Sceaux (ID MNHN : 110020469), située à environ 90 m environ du puits le plus proche (puits GCTM-4).**

Les pâtures mésophiles constituent le seul habitat déterminant de ZNIEFF et accueillent des insectes déterminants tels que le demi-deuil (*Melanargia galathea*), la Decticelle carroyée (*Platycleis tessellata*) et la Decticelle bariolée (*Roeseliana roeselii*). La mise en place d'une gestion différenciée sur les prairies notamment avec la fauche tardive, ont permis l'installation de plusieurs insectes d'intérêt notable. L'entomofaune forestières regroupe des cortèges d'espèces aux exigences biologiques (sapro-xylophages, xylophages, prédateurs, ...) et écologiques (sous-bois, lisières, frondaisons) très variées. Le parc accueille par ailleurs plusieurs espèces de chiroptères, dont l'Oreillard (*Plecotus sp.*), qui gîtent probablement sur place et profitent à la fois des prairies et des zones boisées protégées.

- **Bassin de retenue de la Bièvre à Antony (ID MNHN : 110001631), située à 2080 m environ du site**

Le bassin de retenue s'inscrit dans le prolongement d'un réseau d'étangs qui jalonnent la vallée de la Bièvre. Il est très étroitement enclavé dans le tissu urbain de la banlieue Sud-Ouest et apparaît ici comme un îlot relictuel à préserver.

Son intérêt patrimonial est principalement ornithologique : 140 espèces d'oiseaux ont été observées depuis 1977. Il offre une zone d'accueil importante pour les espèces d'oiseaux hivernantes, en particulier pour la Bécassine des marais (*Gallinago gallinago*) qui fréquente régulièrement le bassin avec des effectifs relativement élevés, en moyenne 30 oiseaux et un maximum atteint de 120, effectif important pour l'Île-de-France.

L'intérêt ornithologique est également lié au caractère refuge que procure ce bassin à quelques kilomètres de Paris :

- rassemblements nocturnes (dortoirs) de milliers d'Hirondelles rustiques en été comme en automne ;
- dortoirs hivernaux et printaniers à Bruant des roseaux (jusqu'à 300 individus) et Bergeronnettes grises (jusqu'à 150 individus) ;
- refuge migratoire ;
- refuge hivernal : Bécassine des marais, Bécassine sourde, Râle d'eau et Sarcelle d'hiver présents chaque année ; le Butor étoilé a été observé en hivernage au moins deux ans sur le site, y compris récemment.
- site particulier de reproduction pour des espèces inféodées au milieu de roselières, cariçaies et autres habitats liés aux zones humides, milieu en forte régression : le Râle d'eau en reproduction prouvée sur le site.

Les milieux représentés dans la ZNIEFF sont effectivement variés, les ceintures de végétation autour de la surface d'eau libre offrent des niches écologiques diversifiées, favorables à de nombreuses espèces : zones de vases exondées (petits échassiers), zones en eau peu profonde (canards de surface), zone en eau plus profonde (Grèbes, Hérons), Saulaie, roselière et rives herbues. Le site est également favorable aux amphibiens et reptiles, avec la présence du Crapaud accoucheur (3 à 4 chanteurs sur le site).

Seuls l'avifaune et les reptiles/amphibiens ont fait l'objet d'inventaires. La Bécassine des marais est la seule espèce déterminante actuellement recensée, mais un inventaire des insectes, et peut-être de la végétation, pourrait en révéler de nouvelles.

○ **Forêt de Meudon et Bois de Clamart (ID MNHN : 110001693), située à 3530 m environ du site**

Ce massif regroupe principalement des habitats de chênaies sessiflores et de chênaies-charmaies. Les habitats humides regroupent des étangs, des mares et des boisements humides. L'entomofaune des vieux boisements est un des intérêts de cette zone, notamment avec 7 espèces déterminantes pour la création de ZNIEFF (Cf. ZNIEFF type 2 ci-dessous «Forêt domaniale de Meudon »).

Les ZNIEFF de type 2 « Habitat » :

○ **Forêt de Verrières (ID MNHN : 110001762), située à 1200 m environ du site**

L'intérêt de cette ZNIEFF concerne principalement les insectes liés à la décomposition du bois. 21 espèces bio-indicatrices (dont 6 déterminantes) qui caractérisent un ensemble de forêts intéressantes sur le plan de la continuité des habitats, ont été recensées. Une partie de la forêt (parcelles 88 et 101) est classée en Réserve Biologique Intégrale (RBI), dont l'enjeu est principalement lié à la faune saproxylique et un taxon en particulier, le nemosoma comutum. Ce classement a pour but de laisser libre cours à la dynamique spontanée des habitats, ainsi que de conserver ou développer la biodiversité associée (entomofaune saproxylique par exemple).

Outre l'intérêt pour l'entomofaune, les vieux boisements possèdent aussi un intérêt pour les l'avifaune avec notamment le Pic noir, le Pic mar, le Lorient d'Europe et le pigeon Colombin. Certains chiroptères se retrouvent aussi dans ces parcelles boisées comme le Noctule de Leisler, la Pipistrelle de Nathusius et la Noctule commune.

La forêt de Verrières se compose principalement de feuillus et présente deux aspects typiques avec le plateau culminant à 174 m d'altitude et les versants découpés en thalwegs. Elle est gérée et entretenue par l'Office National des Forêts. La forêt possède quelques mares dont 4 d'entre elles hébergent l'Utriculaire citrine, une accueille le Bois joli au sud de la forêt.

La ZNIEFF intègre également la Vallée de la Dame, acquisition de la ville de Verrières-les-Buissons au titre des espaces naturels sensibles. Les prairies mésophiles et la végétation de landes sèches font partie des milieux ouverts les plus intéressants et accueillent un grand nombre d'espèces :

- Le Blaireau
- Plusieurs espèces d'orthoptères comme la Decticelle carroyée, la Dectiocelle bariolée et le Grillon des Champs
- Le petit papillon l'Hespérie de l'Alcée, le Demi-Deuil, papillons de prairies sèches
- Deux espèces de libellules, le caloptéryx vierge et la libellule fauve
- Le petit scarabée Onthophagus et la Bondrée apivore

○ **Forêt domaniale de Meudon et de Fausses-Reposes et Parc de Saint-Cloud (ID MNHN : 110030022), située à 3510 m environ du site**

L'intérêt de cette ZNIEFF est tant faunistique, entomofaune des îlots de vieillissement notamment avec 16 espèces déterminantes), que floristique (10 espèces déterminantes).

Les forêts domaniales de Meudon et de Fausses-Reposes regroupent principalement des habitats liés aux chênaies sessiflores et aux chênaies-charmaies. Parmi, les 99 et 98 taxons respectivement repérés sur les forêts de Meudon et de Fausses-Reposes, 8 espèces sont déterminantes pour la création de la ZNIEFF dont le Grand Capricorne, le Taupin de Megerle, l'Eucnème capucin, la Dryade Scarabée, le Sélastosome à deux tâches.

Deux espèces de carabes déterminants ZNIEFF ont été recensés dans la forêt de Meudon, le Faux-Ophone à antennes tâchées et l'Ophonus puncticeps. La majorité des espèces déterminantes ZNIEFF sont des bio-indicateurs forestiers et 6 sont des espèces saproxyliques. Le plan de gestion de l'ONF prévoit une conservation des arbres de grand diamètre, mûres, dépérissant ou morts pour accroître les micro-habitats favorables aux coléoptères saproxyliques, aux champignons, mousses et lichens. Ces vieux boisements sont aussi intéressants pour l'avifaune, notamment les espèces cavernicoles comme le Pic noir, le Pic mar, le Rouge-queue à front blanc, le gobemouche gris et le pigeon colombin. Certains chiroptères bénéficient aussi de ces habitats comme la Noctule de Leisleret la pipistrelle de Nathusius.

Le réseau d'habitats humides (étangs, mares, boisements humides) permet la reproduction de 6 espèces d'amphibiens dont le Triton alpestre et 15 espèces d'odonates dont la libellule fauve.

Plusieurs plantes remarquables se développent grâce aux travaux de restauration des mares, dont la lentille d'eau à plusieurs racines.

Au niveau des zones de source des massifs forestiers, les habitats humides hébergent des cariçaies, des aulnaies marécageuses. Les espaces ouverts (prairies, pelouse, friches) favorisent le développement des lépidoptères et orthoptères dont la decticelle bariolée, la Centaurée Chasse-trape, le Demi-deuil, la Mante religieuse, le grand Paon de nuit. Les pelouses sablo-calcaires habitent la Spiranthe d'automne, une orchidée rare.

Le parc de Saint Cloud est aussi inclus dans cette ZNIEFF mais se situe plus loin du site (> 8 km).

4.3.12.3 Réserve Naturelle

La réserve naturelle du bassin de la Bièvre est identifiée à un peu plus de 2 km du site (FR9300026).

Malgré sa situation au cœur d'un environnement fortement urbanisé et sa taille qui en fait l'une des plus petites réserves naturelles régionales d'Ile-de-France (6 ha), elle constitue une enclave pour la biodiversité et possède une richesse écologique non négligeable.

Creusé dans les années 70 pour recevoir les eaux de pluie du quartier et éviter ainsi les inondations en cas d'orage, le bassin abrite un ensemble de milieux variés (roselière, saulaie, boisements). L'intérêt de la réserve est avant tout ornithologique avec pas moins de 148 espèces d'oiseaux dont des hivernants rares (bécassine des marais, râle d'eau) à très rares (bécassine sourde, butor étoilé), et des migrateurs très rares (marouette ponctuée, blongios nain, rousserole turdoïde).



Figure 122: Réserve Naturelle du bassin de la Bièvre

4.3.12.4 Réseau Natura 2000

La constitution du réseau Natura 2000 a pour objectif de maintenir les espèces et les habitats d'intérêt communautaire dans un bon état de conservation. Sur la base réglementaire du grand réseau écologique européen, les sites désignés par deux directives européennes forment le réseau Natura 2000 :

- La directive « Habitats » (92/43/CEE) du 21 mai 1992 qui impose la délimitation de zones de conservation des habitats naturels représentatifs d'écosystèmes spécifiques à chaque région biogéographique (SIC, ou futures ZSC),
- La directive « Oiseaux » (79/409/CEE) du 2 avril 1979 qui impose la délimitation de zones destinées à la nidification d'oiseaux sauvages menacés d'extinction (ZPS).

Natura 2000 est donc un réseau composé de deux types de sites : les SIC (Site d'Importance Communautaire) et les ZSC (Zones Spéciales de Conservation) et les ZPS (Zones de Protection Spéciales).

Le site du projet n'est pas inclus dans le périmètre d'un site Natura 2000 (Cf. Figure ci-dessous).

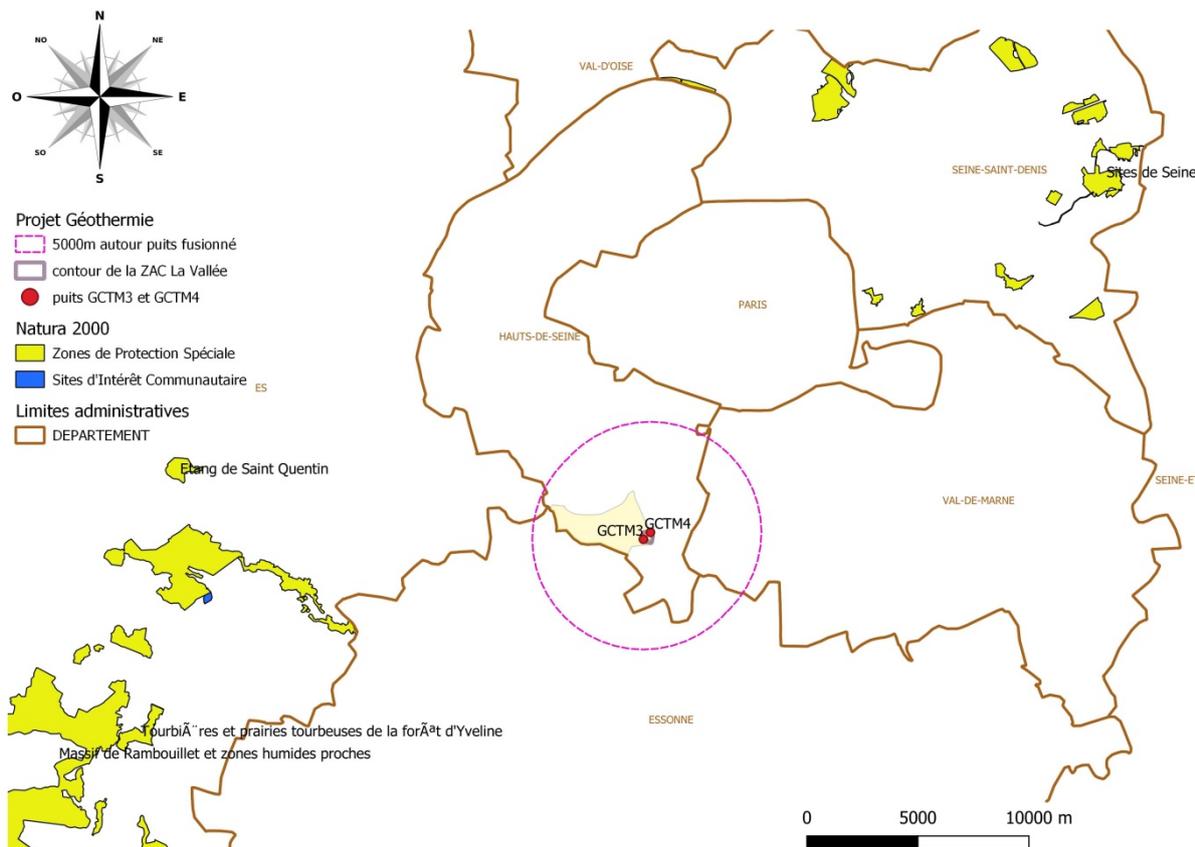


Figure 123: Patrimoine naturel autour de Châtenay-Malabry

La zone Natura 2000 la plus proche du projet se trouve à environ 13 km au Sud-Ouest du périmètre du projet : le site du massif de Rambouillet et zones humides proches.

Ce site est une Zone de Protection Spéciale (ZPS) au titre de la directive « Oiseaux », référencé sous le numéro FR1112011. Le massif forestier s'étend sur 22 000 ha, comprend 14 000 ha de forêt domaniale, le reste des boisements étant privé ou appartenant à des collectivités.

Ce secteur est situé sur un plateau à argiles sur sables, sept cours d'eau pérennes sont présents ainsi que de nombreux étangs, rigoles et fossés alimentant le château de Versailles. En dehors des nombreuses espèces hivernantes, le site se démarque par la présence d'espèces nicheuses dont le Pic mar (forestier), l'Engoulevent (fréquentant les clairières et landes), le Blongios nain (fréquentant les zones humides).

Le Document d'Objectif (DOCOB) de l'entité fait état de 9 espèces animales inscrites au titre de l'Annexe 2 de la directive 92/43 dont trois chiroptères, un amphibien, 2 poissons et 2 insectes. 13 espèces d'oiseaux sont classées « espèces cibles » à l'Annexe 1 de la directive « Oiseaux » : le martin pêcheur d'Europe, la sterne

Pierregarin, le pic mar, le pic noir, la bondrée apivore, l'engoulevent d'Europe, l'alouette lulu, la fauvette pitchou, le busard saint Martin, le blongio nain, le balbuzard pêcheur, le busard des roseaux, le butor étoilé (Voir descriptions en Figure 124 et Figure 125).

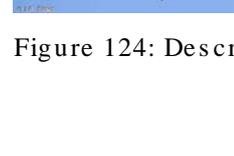
	Oiseaux d'intérêt communautaire identifiées dans le FSD (1)	Nom commun de l'espèce	Code européen Natura 2000 de l'espèce	Estimation de la population (préciser l'unité)	Structure et fonctionnalité de la population	Statut de conservation à l'issue de l'inventaire (2)
					Habitat de l'espèce	
	Lullula arborea (A)	Alouette lulu	A 246	5 couples (inventaire 2009)	Nicheuse et migratrice Espèce régulière depuis 2000, population stable Habitat : Espaces ouverts intra-forestiers de type landes	favorable
	Sylvia undata	Fauvette pitchou	A 302	1 couple et 1 mâle chanteur (bordure de ZPS)	Nicheuse à proximité (1 mâle chanteur en FD Rambouillet en 2009) Habitat : landes à callune peu boisées au Bois de Rochefort	inconnu
	Circus cyaneus	Busard Saint-Martin	A 082	Données ponctuelles sur la ZPS	Migreur hivernant, non nicheur En forêt : sur landes & régénérations Domaine National : fréquentation irrégulière des cultures Les types de milieux présents dans la ZPS ne sont pas suffisants pour satisfaire les exigences de l'espèce.	défavorable inadéquat
	Caprimulgus europaeus (B)	Engoulevent d'Europe	A 224	140 couples environ	Migreur, nicheur Fort accroissement des populations après la tempête de 1999 Habitat : en forêt, dans la plupart des parcelles en régénération ou jeunes plantations de pins et en milieux landicoles	favorable
	Dryocopus martius (C)	Pic noir	A 236	30 à 60 couples (estimation)	Nicheur et sédentaire Effectifs non connus, espèce probablement commune, et population stable Habitat : Futaies mélangées de feuillus ou résineux sur l'ensemble de la ZPS	favorable
	Dendrocopos medius	Pic mar	A 238	Plus de 100 couples	Nicheur et sédentaire Apparition récente (1991), population en augmentation Habitat : Ensemble des peuplements forestiers feuillus (chênaies matures)	favorable
	Pernis apivorus (D)	Bondrée apivore	A 072	14 à 15 couples (comptage rapaces 2009)	Migreur, nicheur Population stable depuis 40 ans Habitat : massifs forestiers, étangs de St Hubert	favorable

Figure 124: Descriptif des oiseaux inscrits à la directive des oiseaux des sites Natura 2000 en zones ouvertes (violet) et forêt (vert)

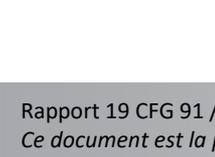
	Oiseaux d'intérêt communautaire identifiées dans le FSD (1)	Nom commun de l'espèce	Code européen Natura 2000 de l'espèce	Estimation de la population (préciser l'unité)	Structure et fonctionnalité de la population	Statut de conservation à l'issue de l'inventaire (2)
					Habitat de l'espèce	
	Ixobrychus minutus (E)	Blongios nain	A 022	1 à 3 couples aux étangs de Hollande	Migreur, nicheur En régression de 1955 à 1990, population stable depuis 20 ans Habitat : roselières des étangs de Hollande mais aussi à l'étang des Noës	défavorable
	Pandion haliaetus (E)	Balbuzard pêcheur	A 094	1 ou 2 individus en estivage	Migreur, non nicheur, en estivage régulier Noté régulièrement au passage pré et post-nuptial sur les étangs. Possibilité d'implantation d'un couple en ZPS Observé sur les étangs (pêche)	favorable
	Circus aeruginosus (F)	Busard des roseaux	A 081	Quelques oiseaux de passage régulier	Migreur, non nicheur, hivernant occasionnel Halte migratoire au dessus des roselières des étangs de Hollande, à l'étang des Noës.	inconnu
	Botaurus stellaris (F)	Butor étoilé	A 021	1 ou 2 hivernants	Migreur non nicheur, hivernant Evolution des populations inconnue. Présence régulière d'individus en hivernage (1 ou 2 oiseaux). Espèce cantonnée aux phragmitaies des étangs	inconnu
	Alcedo atthis (G)	Martin pêcheur	A 229	Peu fréquent	Nicheur, migreur et hivernant peu commun En régression (hiver rigoureux) Observé sur les étangs (pêche), peu d'habitats potentiels pour sa nidification	défavorable
	Sterna hirundo (H)	Sterne pierregarin	A193	Migrateurs réguliers. Effectif maximum 17	Migreur, non nicheur Habitat : eaux libres des étangs de Hollande, mais aussi à l'étang des Noës, l'étang de la Tour	favorable

Figure 125: Descriptif des oiseaux inscrits à la directive des oiseaux des sites Natura 2000 en zone étang

4.3.12.5 Arrêtés préfectoraux de protection de biotope (APPB)

Ces arrêtés sont pris par le Préfet afin de protéger des espaces abritant des espèces animales ou végétales protégées. Ces espaces à protéger sont tous inclus dans des zones réglementaires ou d'inventaire (de type ZNIEFF ou Natura 2000).

Dans un rayon de 5 km autour du site, aucun site n'est répertorié, le site les plus proches est celui de La Fosse aux carpes (FR3800499) : à environ 12 km du site.

L'arrêté préfectoral n° 99-PREF-DCL du 21/06/1999 détaille les mesures de protection d'une surface boisée de 26 ha sur la commune de Draveil considérant que le secteur abrite les espèces protégées suivantes : le Fuligule morillon, Rousserolle effarvatte, Phragmite des joncs, le Fuligule nyroca, le Garrots à œil d'or, le Harles bièvres (reproduction et/ou hibernation).

4.3.12.6 Espaces Naturels Sensibles

Le Code de l'Urbanisme (article L.211-1 et suivants), a affirmé la compétence des départements dans l'élaboration et la mise en œuvre d'une politique de protection, de gestion et d'ouverture au public des espaces naturels sensibles.

Les espaces ainsi identifiés peuvent être inclus dans des zones de préemption et/ou bénéficier de financements au titre de la Taxe Départementale Des Espaces Naturels Sensibles (TDENS). Selon l'article L.142-3 du Code de l'Urbanisme, les départements ont la faculté d'instituer des zones de préemption en concertation avec les communes concernées. Au sein de ce périmètre, le Département (ou les collectivités qui peuvent exercer ce droit par substitution ou délégation), peut (peuvent) réaliser des acquisitions foncières en priorité sur toute autre personne morale ou privée. Ils intègrent des secteurs à forts enjeux écologiques, mais aussi des espaces de nature ordinaire, ainsi que des continuités écologiques (trame verte et bleue).

D'après le relevé des ENS dans le PLU modifié en 2017, la Vallée aux Loups (1) est classée en Espace Naturel Sensible, ainsi que les crêtes de la Bièvre (2) avec sa promenade des 4 forêts, la forêt de Verrières (3), la Butte Rouge (4), la coulée verte du sud parisien (5) et la liaison verte des Guillonnières (6) comme illustré sur la carte ci-dessous.

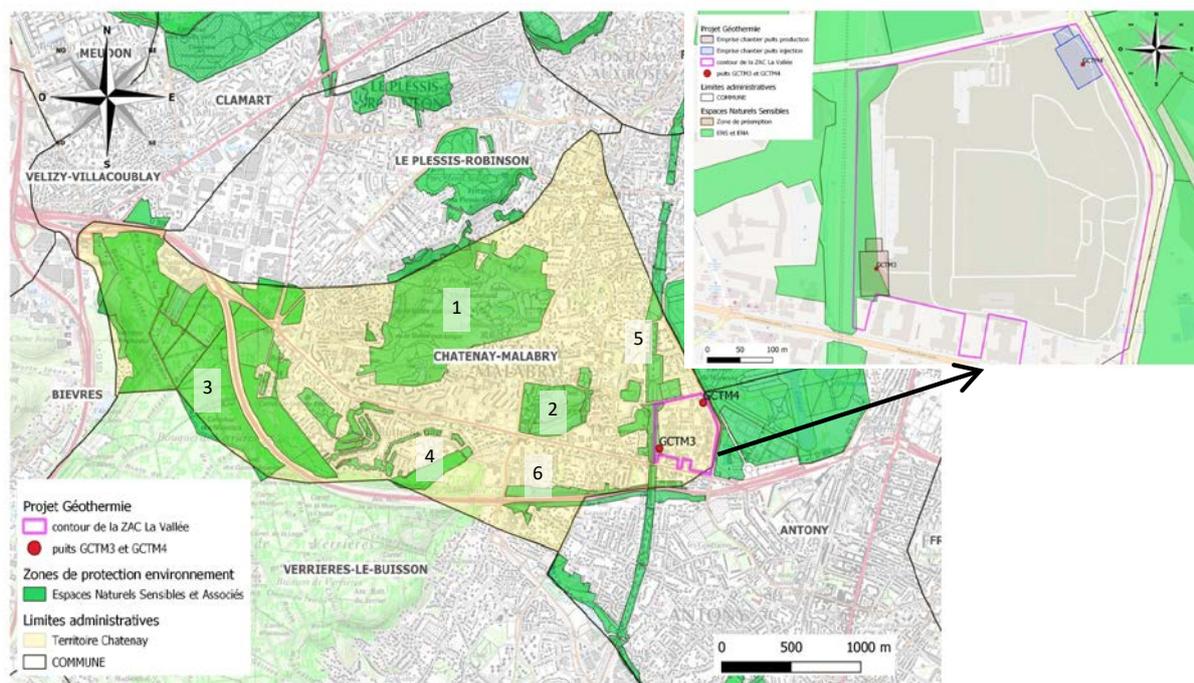


Figure 126: Recensement des espaces naturels sensibles sur le territoire de Châtenay-Malabry et zoom sur la ZAC (Source : Département Hauts de Seine)

Le site de forage du puits de production est situé sur une partie de l'ENS de la coulée verte du Sud Parisien. Cet espace de continuité écologique est pris en compte dans les prescriptions architecturales, environnementales et urbanistes de la ZAC où s'intègre le puits de production.

Le recensement à l'échelle du département montre la présence de plusieurs espaces boisés sur les communes voisines (Cf. Figure 127). Une zone de préemption existe aussi sur l'ENS de la Vallée aux Loups à Chatenay-Malabry.

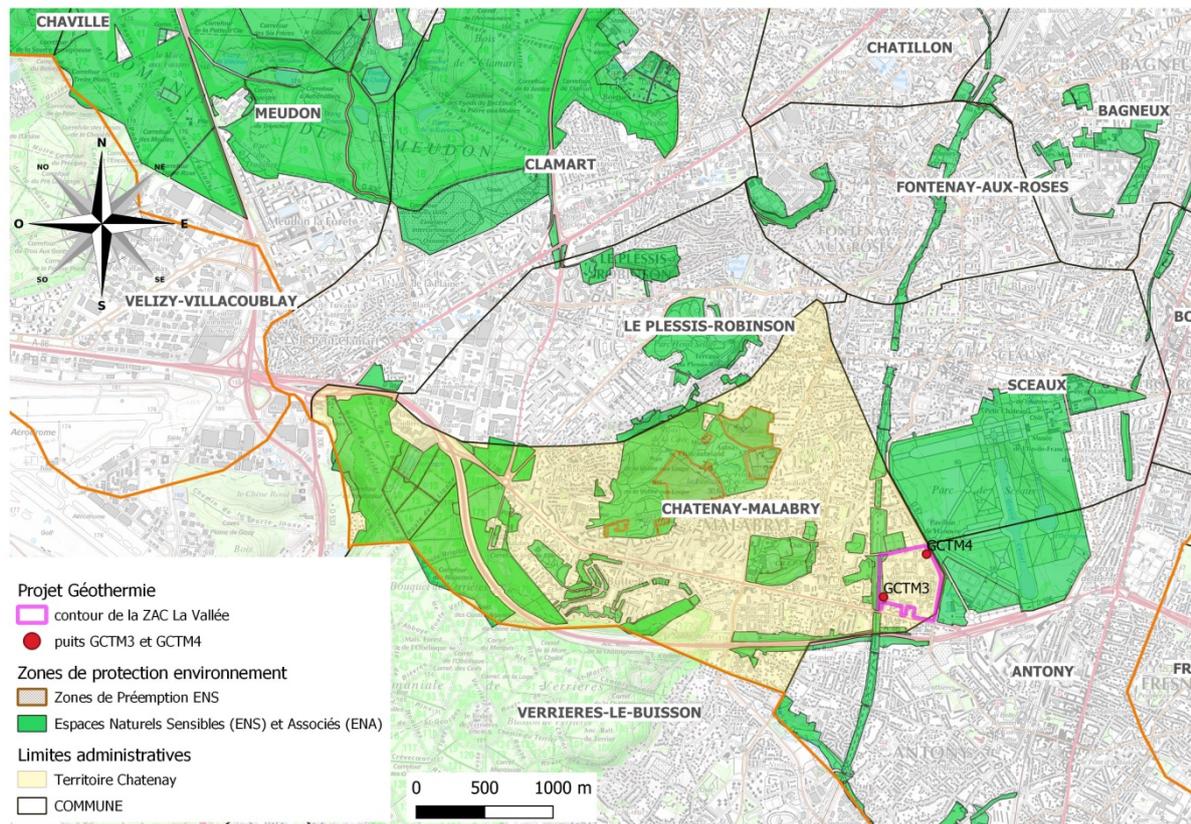


Figure 127: Espaces naturels sensibles recensés autour de Châtenay-Malabry

4.3.12.7 Espaces Boisés Classés

Les Espaces Boisés Classés (EBC) sont définis par l'article L. 130-1 du Code de l'Urbanisme. Le régime des EBC a pour objectif d'assurer la préservation des boisements et forêts existants, des espaces verts urbains, des plantations d'arbres, des arbres isolés remarquables ainsi que des espaces non boisés susceptibles d'être plantés. Le classement en espaces boisés interdit les changements d'affectation ou les modes d'occupation du sol de nature à compromettre la conservation, la protection ou la création de boisements.

L'ensemble des EBC de Châtenay-Malabry couvre 199 ha et comprennent :

- La forêt de Verrières (A)
- Le Parc de la Vallée aux Loups (B)
- Les parcs communaux permettant le maintien d'une biodiversité riche en milieu urbain avec le parc de l'Hotel de ville (C), le Parc du Creps (D), le parc Vinci
- La propriété des Murs Blancs (E) repérée au titre du patrimoine bâti et présentant des espaces verts de grande qualité

Les sites du chantier de forage n'appartiennent pas à un Espace Boisé Classé (EBC) et ne comprend pas d'arbres remarquables comme illustré sur la figure ci-dessous.

La forêt publique la plus proche est la forêt de Verrières, située à un peu plus de 1 km à l'ouest du site.

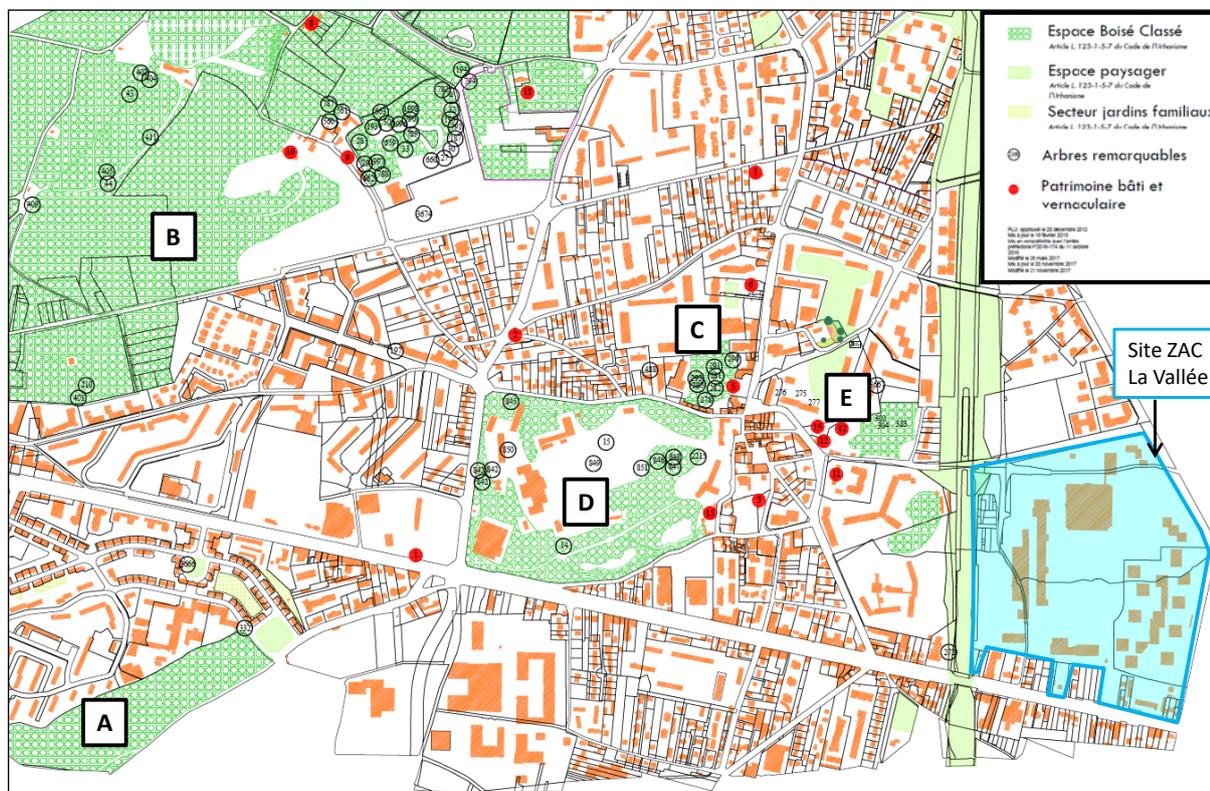


Figure 128: Patrimoine remarquable et Bois Classés sur le territoire de Châtenay-Malabry près du site de la ZAC (PLU Châtenay-Malabry)

4.3.12.8 Autres espaces protégés

Les milieux naturels, les espèces animales et végétales sont considérés comme « patrimoine commun de la nation », de ce fait, tout ce qui contribue à en assurer la protection, la gestion et la mise en valeur est « d'intérêt général ».

Les sites inscrits et classés

Les sites inscrits et classés sur la commune permettent d'imposer une autorisation préfectorale avant toute modification de ces sites (site classés) ou une soumission pour avis à un Architecte des Bâtiments de France (sites inscrits).

Les sites classés sur la commune sont la propriété de Mme Thévenin, la Vallée aux Loups, les Perspectives du Parc de Sceaux. Les sites inscrits sont le Parc Roland Gosselin et les Perspectives du Parc de Sceaux. Ces sites sont repérés sur la figure ci-dessous.

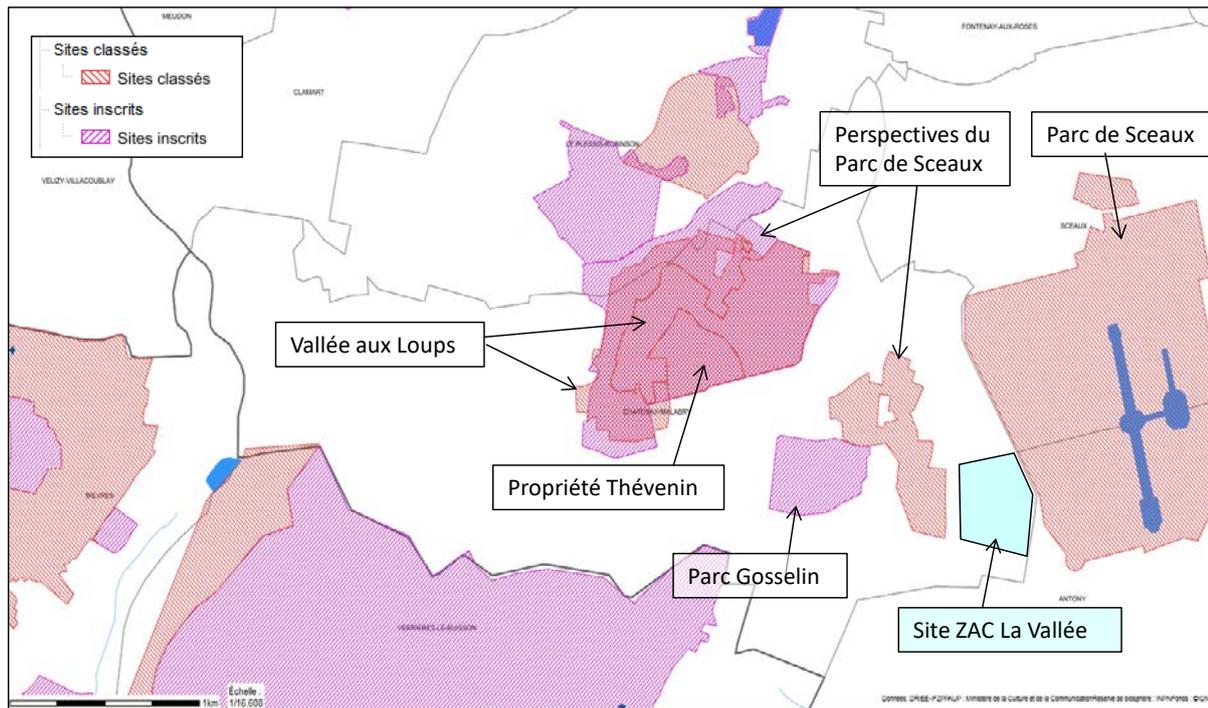


Figure 129: Sites classés et inscrits sur la commune de Châtenay-Malabry

La carte suivante reporte tous les espaces protégés et répertoriés du secteur d'étude, notamment les Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux (ZICO), les Arrêtés Préfectoraux de Protection du Biotope (APPB), les Réserves Biologiques, les Réserves Naturelles (RNN, RNR), les Zones Humides RAMSAR, les Parcs Nationaux et les Parcs Naturels Régionaux.

Toutefois, il peut être remarqué que le chantier de forage n'appartient à aucun de ces espaces naturels protégés (Cf. Figure 130).

Les zones potentiellement humides

D'après la DRIEE-IdF et son étude sur la connaissance des secteurs potentiellement humides de la région (selon les critères relatifs aux sols et à la végétation mis en avant par l'arrêté du 24 juin 2008 modifié), il existe des enveloppes d'alertes potentiellement humides sur le territoire de classe 2, 3 et 5. En cas de projet d'urbanisation, ces zones nécessiteront des études complémentaires (étude pédologique et végétation) afin d'en déterminer le caractère humide.

Des zones humides sont suspectées au niveau de la coulée verte près du site et avérées à l'extrémité ouest de la commune au niveau du bassin de l'Abbaye aux bois (Cf. Section 4.3.3 et Figure 131).

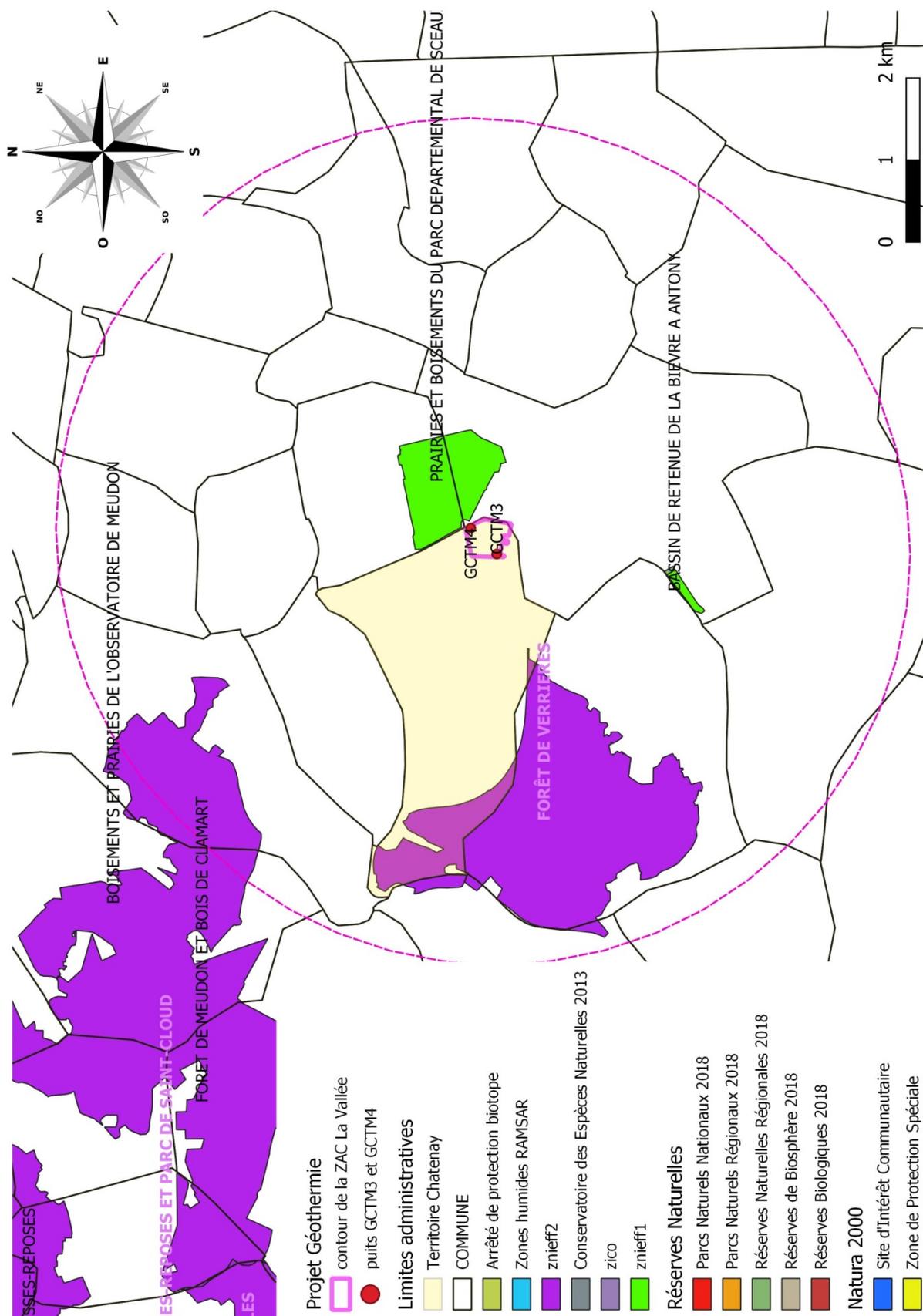


Figure 130: Espaces naturels protégés autour du projet de Châtenay-Malabry

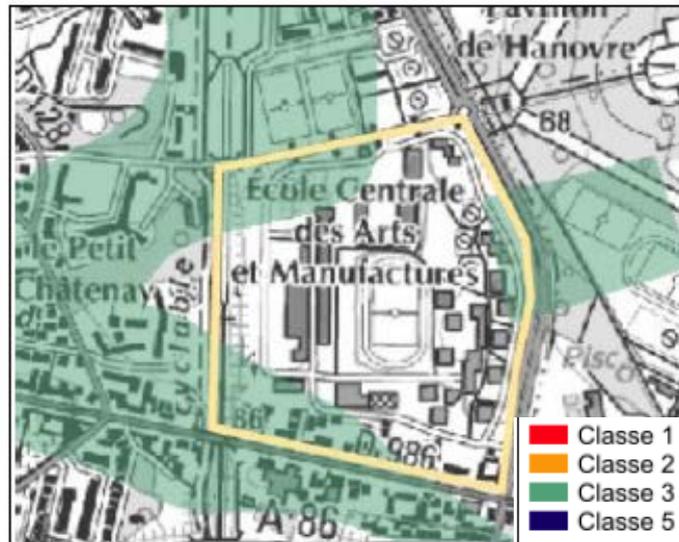


Figure 131: Enveloppe de zone humide probable de la DRIEE pour le site de la ZAC

Etant donnée la probabilité d'une présence de zone humide, une étude pédologique et végétation a été réalisée par le cabinet Even en 2018 qui a pu déterminer la présence d'une zone humide sur le site de la ZAC (Cf. Figure ci-dessous). Celle-ci est décrite comme un habitat EUNIS E3.4 « Prairies eutrophes et mésotrophes humides ou mouilleuses ».

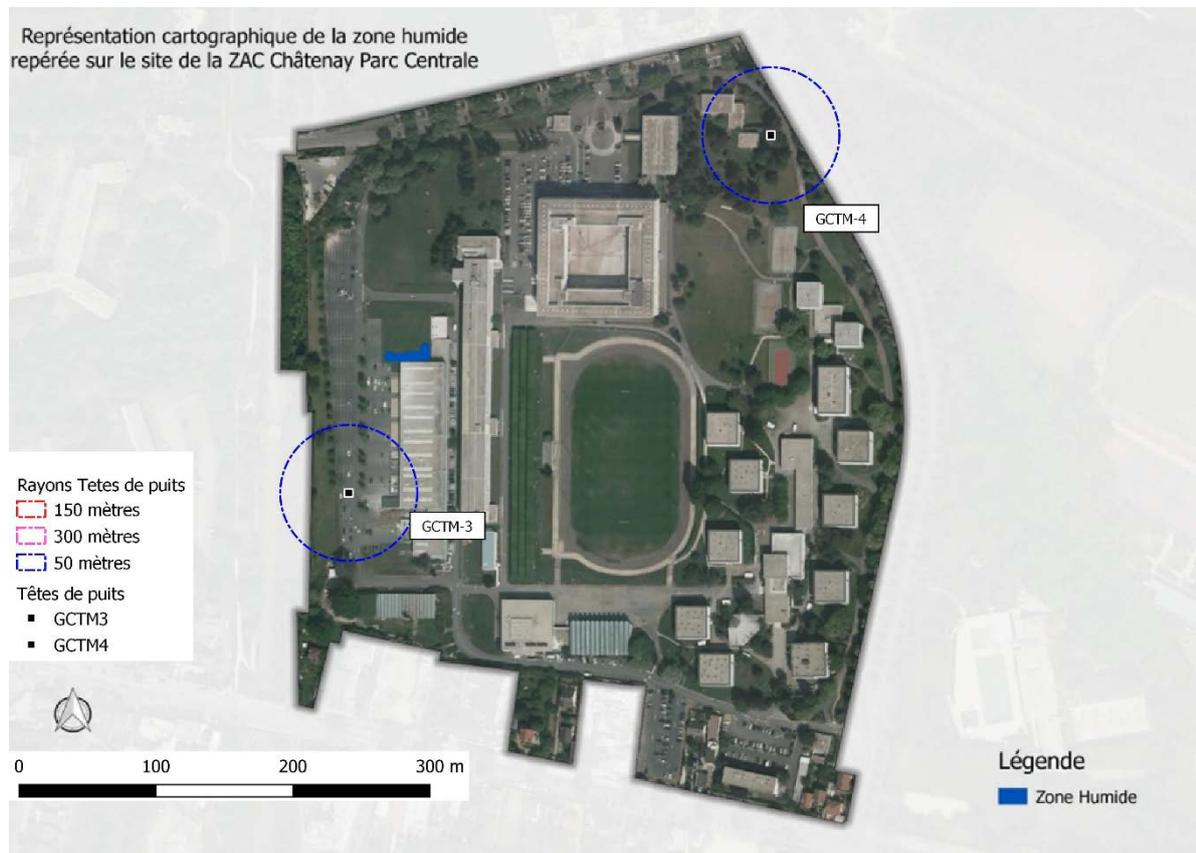


Figure 132: Zone humide répertoriée par l'étude pédologique et végétation de 2018 (Source : Even Conseil)

Les corridors écologiques

Au sein des milieux urbanisés, les espaces naturels sont fragmentés ce qui provoque une érosion de la biodiversité. Il existe alors un enjeu de préservation des corridors écologiques afin de faciliter la circulation des espèces.

Le projet est situé sur une zone OAP (Opération d'Aménagement particulier) qui fixe un objectif de trame verte sur le site de la ZAC La Vallée :

- Faire une large part aux espaces verts et renforcer la trame verte avec la continuité écologique entre la forêt de Verrière et la Parc de Sceaux.

Ces objectifs sont illustrés sur la figure suivante avec la localisation des sites de forage et du réseau de chaleur. Les actions indiquées pour renforcer de la trame verte (principalement à l'ouest de la ZAC) sont l'aménagement d'espaces paysagers et liaisons douces le long de la coulée verte, l'élargissement de la coulée verte avec des espaces non constructibles.

Les conditions d'aménagement particulières du PLU pour cette OAP sont prises en compte dans les prescriptions architecturales, environnementales, paysagères et urbaines de la ZAC La Vallée. Ainsi, une ferme urbaine est prévue sur l'ouest de la ZAC (figure suivante), le site du puits de production s'intégrera dans cet espace. Afin de préserver au maximum l'espace réservé à la ferme urbaine : il est envisagé de définir deux zones de servicing :

- Une première zone de maintenance Lourde correspondant à une surface de 1000 m² traitée en voirie lourde permettant de pouvoir une machine de workover. Etant donné que cette zone n'est prévue d'être utilisée qu'à l'abandon des ouvrages, la plateforme sera conservée mais recouverte de terre végétale afin que la ferme urbaine puisse utiliser cette surface. Au moment de l'abandon, la terre végétale et les cultures seront retirées pour laisser place à la plateforme de workover.
- Une seconde zone de maintenance légère sera aménagée et conservée afin de pouvoir réaliser le suivi réglementaire de l'ouvrage, les diagraphies réglementaires et les manœuvres de pompe d'exhaure. Cette surface de l'ordre de 300 m² utilise en partie la voirie, une convention d'accès et d'occupation temporaire de la voirie sera à prévoir entre l'exploitant et la Ville de Chatenay-Malabry.



Figure 133: Plan de masse de la ZAC après aménagement

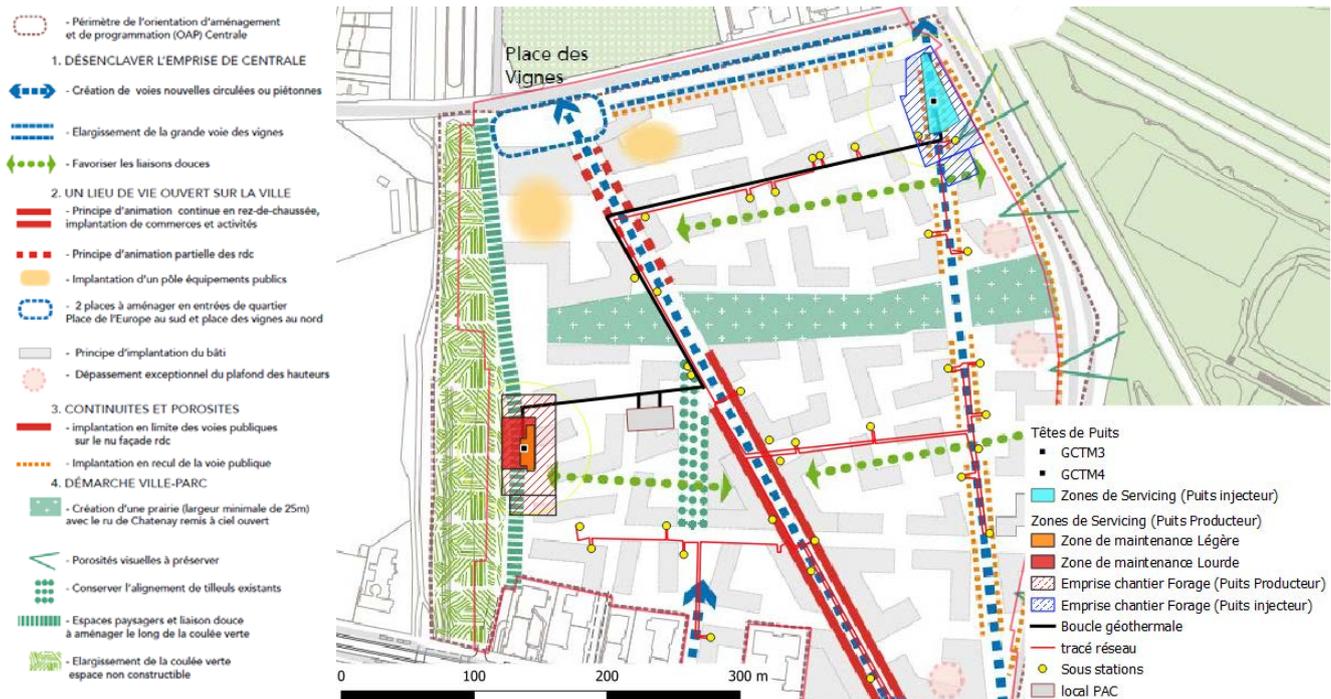


Figure 134: OAP de la ZAC dans le PLU

Etude faune et flore spécifique au site de la ZAC La Vallée

- **Espèces relevés en 2016**

D'une manière générale, la présence de clôtures aux mailles larges sur le bord ouest du site est propice aux déplacements d'espèces comme le Hérisson d'Europe. Les espaces verts parsemés de bosquets/buissons peuvent être un habitat potentiel pour l'espèce.

La zone située au nord-est du site est légèrement vallonnée et présente des conifères plantés permettant l'accueil d'oiseaux comme la mésange huppée, le roitelet huppé ou la mésange noire.

La zone localisée au sud-ouest présente 2 gros chênes qui peuvent représenter un habitat pour les pics ou pigeons colombin présents sur le département des Hauts-de-Seine. La principale limite à la présence d'un peuplement avicole est le manque de cavités qui vient notamment avec la maturation du peuplement arborescent. Cet espace est aussi un potentiel habitat pour l'écureuil roux d'Europe.

Un inventaire a été réalisé en 2016 par le cabinet Even Conseil entre avril et août pour préciser la flore et les habitats naturels du site, les lépidoptères, les orthoptères, les oiseaux et les mammifères chiroptères présents sur le site. L'inventaire n'a pas concerné les amphibiens ni les reptiles étant donnée l'absence de milieux favorables pour ces espèces sur le site. Les conclusions de leur état des lieux sont présentés dans ce paragraphe.

Concernant les insectes Lépidoptères, 14 espèces de lépidoptères ont été recensées, dont le Tircis qui est noté comme particulièrement abondant. Even Conseil note la présence de *Charcharodus alcaea*, l'Hespérie de l'Alcée, espèce déterminante ZNIEFF en Île-de-France mais néanmoins commune en couronne francilienne.

Concernant les insectes Orthoptères, 8 espèces d'orthoptères ont été recensées. Even Conseil qualifie le peuplement d'assez banal, Le Criquet verte-échine reste l'espèce la plus répandue, c'est en effet la seule espèce qui fréquente les espaces tondus.

Les écoutes nocturnes ont permis de mettre en évidence la présence de la Grande sauterelle et du Phanéroptère méridional.

Seul le Conocéphale gracieux, espèce déterminante ZNIEFF en Île-de-France un intérêt patrimonial.

Les milieux herbacés les plus hauts hébergent un peuplement à peine plus diversifié.

En termes d'habitats, **seul le talus ouest, prairie intensive à Festuca arundinacea, présente un intérêt.** Il s'agit de la seule formation prairiale proprement dite. La diversité végétale y est cependant très faible avec une forte dominance de Festuca arundinacea ce qui explique la faible diversité d'orthoptères ainsi que de lépidoptères.

La prairie du haut du talus ouest fait l'objet de l'article 6 de l'arrêté préfectoral DCPAT n°2019-21 en date du 25 février 2019 (annexe 7.12). Il y est stipulé que cette zone est conservée dans le cadre de la mise en place de la ferme urbaine afin de ne pas porter atteinte aux orthoptères et lépidoptères, en particulier à l'habitat du Conocéphale gracieux, insecte protégé régional. **Le stationnement des engins et véhicules de chantier n'est pas autorisé sur la prairie préservée du haut du talus ouest** du projet, délimitée sur la figure suivante :

- La **zone constitutive de la prairie du haut talus ouest (haie et abords)** est présentée sur l'annexe de l'arrêté et sur les figures suivantes en **vert foncé**.
- La zone du **talus ouest (prairie présentant un intérêt écologique faible)** est présentée sur l'annexe de l'arrêté et sur les figures suivantes en **vert clair**.

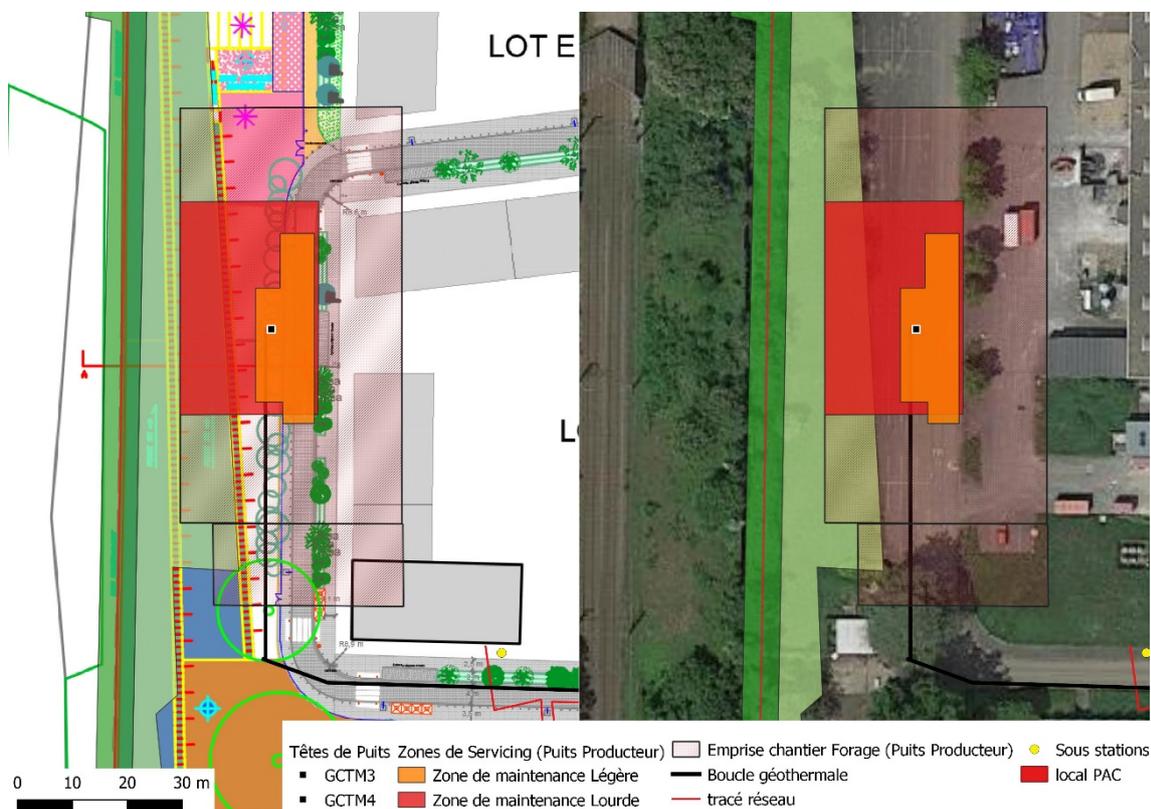


Figure 135 : Emplacement zone de chantier de forage et de servicing, zonage de l'arrêté préfectoral

Concernant les oiseaux, 27 espèces d'oiseaux ont été recensées, leur peuplement reste très commun.

Toutes les espèces sont liées au patrimoine arboré excepté le Rougequeue noir qui occupe les bâtiments.

La bergeronnette grise est la seule espèce à témoigner du caractère ouvert des pelouses. A priori, un seul couple se reproduit.

Aucune espèce remarquable n'est présente. Notons cependant que la sittelle torchepot, espèce commune, montre néanmoins une tendance à la régression en petite couronne francilienne. Mais la proximité du site avec de grands espaces boisés (forêt de Verrières et Parc de Sceaux) assure a priori la conservation de l'espèce.

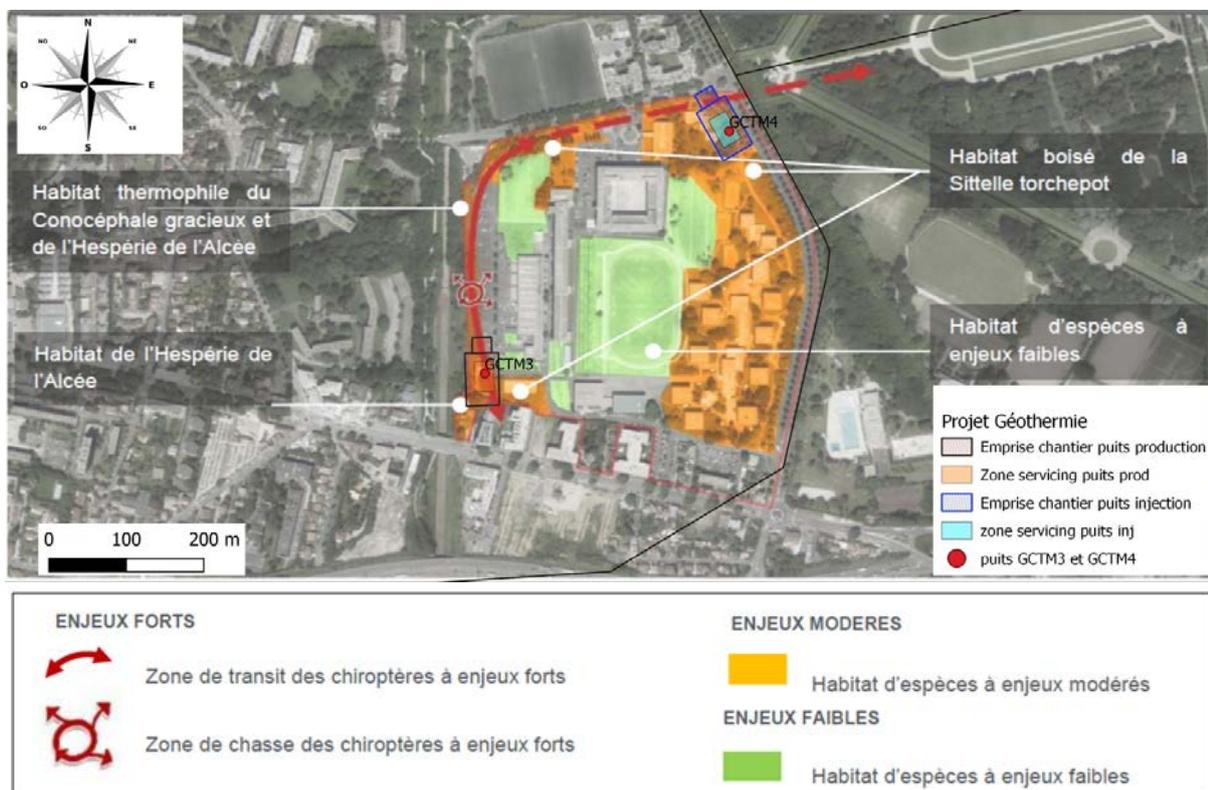
Concernant les mammifères, des écoutes chiroptérologiques ont été effectuées à l'aide d'un détecteur passif positionné au niveau du talus ouest, habitat le plus favorable à la présence de chiroptères. 4 espèces ont été contactées, toutes patrimoniales.

La Pipistrelle commune est relativement abondante sur le site avec une cinquantaine d'enregistrements par nuit. La Pipistrelle de Kühl était certainement en transit avec 1 contact la première nuit. La Sérotine commune a fait l'objet d'un contact par nuit dont un enregistrement assez long ce qui laisse supposer que l'espèce fréquente le site pour la chasse (malgré l'absence d'enregistrement de buzz typique de la capture de proie). La Noctule n'a pu être identifiée de manière certaine jusqu'à l'espèce en raison d'un signal trop court. Il est très probable qu'il s'agisse de Noctule commune compte tenu des fréquences terminales plutôt basses et de la période entre signaux relativement longue.

A noter que la Noctule est classée comme « quasi menacée » (espèce proche du seuil des espèces menacées ou qui pourrait être menacée si des mesures de conservation spécifiques n'étaient pas prises) selon la liste rouge des espèces menacées en France (Mammifères de France Métropolitaine, UICN-MNHN février 2009).

Concernant les autres espèces, l'Ecureuil roux fréquente le site de manière marginale. En l'état sa reproduction n'est pas avérée. Néanmoins la morphologie des espaces boisés, bien que peu favorable, présente une potentialité intéressante pour cette espèce en cas de plantation d'essences indigènes.

Synthèse des enjeux écologiques



Ainsi, l'étude conclue que certains éléments du paysage peuvent être assimilés à des éléments support de biodiversité et constituent des habitats potentiels pour la faune et la flore. Ces éléments sont repérés sur la figure ci-dessous et comprennent le talus herbacé à l'ouest, les espaces verts arborés au nord-est et la parcelle privée au sud.

Les enjeux pour la ZAC sont donc de profiter des aménagements pour valoriser le potentiel écologique du site, notamment en préservant la portion boisée d'intérêt fort ou à défaut en reconstituant un milieu comparable, en étudiant les possibilités de conservation des espaces d'intérêt moyen, en permettant le maintien des espèces protégées par reconstitution d'habitats appropriés en milieu ouvert.

Le site du forage de production est proche du talus ouest avec la présence de la zone de transit des chiroptères, de l'habitat boisé de la Sitelle torchepot et de l'habitat du Conocéphale Gracieux. Le site du puits d'injection est principalement concerné par l'habitat boisé de la Sitelle torchepot.

- **Les arbres à conserver**

L'aménagement de la ZAC cause l'abattage de plus de 340 arbres en raison de la densité bâtie projetée et des terrassements nécessaires pour la bonne réalisation du projet. Une équipe de paysagistes et écologues s'est rendu sur le site de la ZAC en automne 2017 afin de repérer les arbres à conserver de manière prioritaire en raison de leur qualité paysagère et environnementale (en termes d'habitats potentiels pour la faune).

Ainsi, 200 arbres remarquables sont prévus pour être conservés comme illustré sur la carte ci-dessous, notamment des alignements de prunus à l'ouest de la ZAC, de châtaigniers à l'est, de platanes au Nord, des bouleaux, pins, chênes, cèdres comme illustré sur la carte ci-dessous.

Le site du puits de production comporte dans son enceinte des arbres (liquidambars) initialement conservés par l'aménageur. Les liquidambars impactés par l'emprise de forage seront impactés ; néanmoins cet emplacement résulte d'un compromis afin d'éviter de couper des arbres centenaires ou anciens tels que le cèdre et les pins (au sud de la plateforme), les liquidambars étant beaucoup plus jeunes.

Le site du puits d'injection se trouve à proximité d'un groupement de bouleaux et pins prévus pour être conservés. Ces arbres seront impactés par le chantier de forage et la phase exploitation des puits de géothermie. Les modalités d'abattage et de plantation seront respectées que cela soit en terme de période de coupe que de méthodologie (passage de la LPO, etc..).

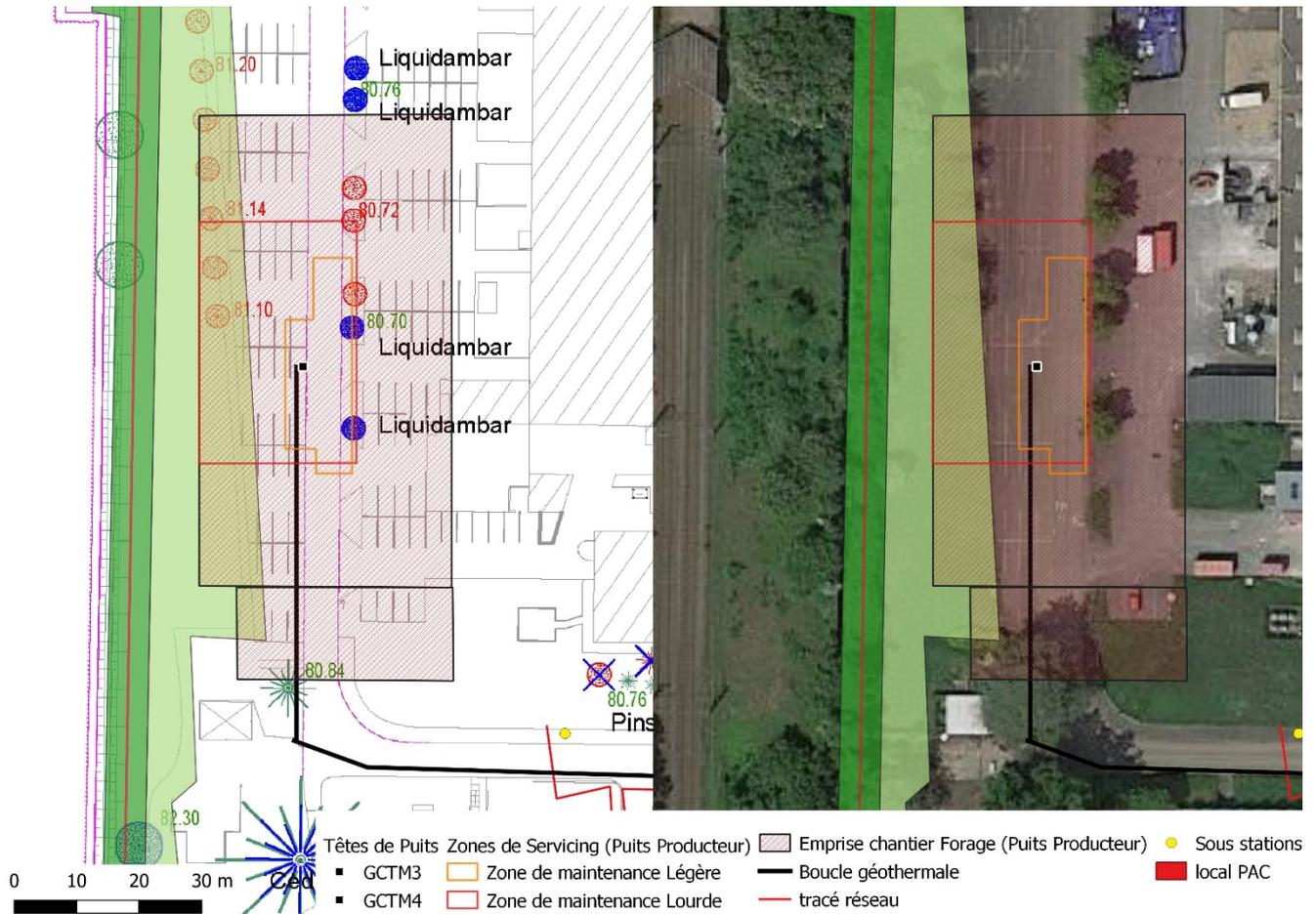


Figure 137: Arbres prévus pour être conservés dans le cadre du projet de la ZAC (Source : Prescriptions architecturales, urbaines, environnementales et paysagère pour la ZAC La Vallée)

4.3.12.9 Synthèse du contexte réglementaire

Le site du projet de géothermie n'appartient pas à :

- un parc naturel régional ou parc national ;
- une réserve biologique ;
- une zone humide RAMSAR ou potentiellement humide;
- une réserve naturelle nationale, régionale ou départementale ;
- 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 du biotope.

Plusieurs sites protégés correspondant au classement de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel réalisé par le Museum National d'Histoire Naturelle (ZNIEFF, Natura 2000) ont été inventoriés à moins de 5 km du site du projet. La ZNIEFF la plus proche se situe à moins de 100 m mètres à l'Est du site au sein du Parc de Sceaux.

Les sites des futurs chantiers de forage peuvent jouer un rôle dans la continuité écologique du territoire de Châtenay-Malabry compte tenu de la présence d'arbres et de la proximité du parc de Sceaux.

Les sites appartiennent à une zone identifiée comme à développer comme site de continuité écologique pour s'intégrer dans la trame verte du territoire. Le site du forage de production se situe sur un espace naturel sensible qui est déjà pris en compte dans les prescriptions urbaines et environnementales de la ZAC.

En phase chantier, la zone aménagée pour installer la machine de forage sera adaptée pour respecter au mieux les groupements d'arbres recommandés pour la conservation dans le cadre de l'aménagement de la ZAC.

En phase exploitation, cette continuité écologique se traduira un engazonnement de la zone de servicing des puits et par un réaménagement permettant de conserver la fonction ferme urbaine au niveau du puits producteur et sa fonction de continuité écologique.

4.3.13 Qualité de l'air

L'Île-de-France présente un relief relativement plat et bénéficie d'un climat océanique propice à une bonne dispersion des polluants atmosphériques émis. Cependant, la densité urbaine, concentrée sur un territoire restreint, favorise une forte concentration des émissions de polluants. Ainsi, l'agglomération de Paris, soit le cinquième de la superficie de la région Île-de-France, contribue pour les deux tiers aux émissions régionales des oxydes d'azote.

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 les connaissances actuelles leur attribuent des effets nuisibles sur l'environnement, la santé ou le patrimoine bâti.

Des valeurs limites, des valeurs guides d'exposition 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. L'ensemble de ces valeurs a été repris dans le droit français par le décret du 06 mai 1998 relatif à la surveillance de l'air. Des seuils d'alerte et des valeurs limites ont été définis.

4.3.13.1 Les polluants

Les polluants primaires

On qualifie de polluants "primaires" les polluants qui sont directement émis dans l'atmosphère par les activités humaines. Les principaux polluants atmosphériques sont :

- **Le dioxyde de soufre (SO₂)** : c'est le gaz polluant le plus caractéristique des agglomérations industrialisées. Une faible part (15%) est imputable aux moteurs diesels, mais il provient essentiellement de certains processus industriels et de la combustion du charbon ainsi que du fuel ;
- **Les oxydes d'azote (NO_x)** : ils proviennent surtout de la combustion émanant des centrales énergétiques et du trafic routier (notamment les poids lourds) ;
- **Les particules (PM₁₀)** : ce sont les particules en suspension dans l'air émises par la circulation automobile (moteurs diesel en particulier), l'industrie et le chauffage urbain ;
- **Le monoxyde de carbone (CO)** : Il provient de la combustion incomplète des combustibles utilisés dans les véhicules ;
- **Les composés organiques volatils (COV)** : d'origines diverses, il s'agit d'hydrocarbures, de composés organiques, de solvants ou de composés organiques émis par l'agriculture et le milieu naturel ;
- **Le plomb (Pb)** : l'utilisation du plomb pour ses propriétés antidétonantes a conduit au rejet de quantités énormes de ses dérivés dans l'air. Il peut également provenir de procédés de fabrication industriels.

Les polluants secondaires

Les polluants "primaires" peuvent évoluer chimiquement dans l'atmosphère pour former des polluants "secondaires", qui sont à l'origine de la pollution photochimique et des pluies acides.

Le principal polluant secondaire dit « photo-oxydante » est l'ozone qui résulte de la transformation photochimique de certains polluants dans l'atmosphère (oxydes d'azote et organochlorés) en présence de rayonnement ultra-violet solaire. Ainsi, les concentrations maximales de ce polluant secondaire se rencontrent loin des sources de pollution.

4.3.13.2 Qualité de l'air à Châtenay-Malabry

Conformément à la loi sur l'air du 30 décembre 1996, AIRPARIF, association type loi de 1901 à but non lucratif (source : <http://www.airparif.asso.fr>) est l'organisme agréé par le ministère chargé de l'Environnement pour la surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France.

D'après AIRPARIF, l'année 2018 a été marquée par plusieurs épisodes de pollution en ozone (O₃) liées aux conditions caniculaires survenues durant la période estivale. A contrario, en raison des conditions hivernales globalement clémentes (températures supérieures aux normales de saison) et dispersives, très peu de pollution dus aux particules PM₁₀ ont été enregistrées. Trois jours de dépassement du seuil d'information ont été enregistrés, soit deux fois moins qu'en 2017. Ces résultats ne sauraient pourtant annoncer une tendance, puisque le premier trimestre 2019 enregistre déjà 7 jours d'épisodes de pollution particulière.

D'après le PLU 2017, la qualité de l'air est globalement moins bonne à Châtenay-Malabry que celle de la région, du département et de Paris même (environ 80% de l'année 2008 était classé en pollution faible à très faible avec l'indice ATMO). La dégradation de l'indice ATMO est essentiellement due à l'ozone (O₃) qui constitue le polluant dominant à Châtenay-Malabry et dont la contribution est d'au moins 70% depuis 2006.

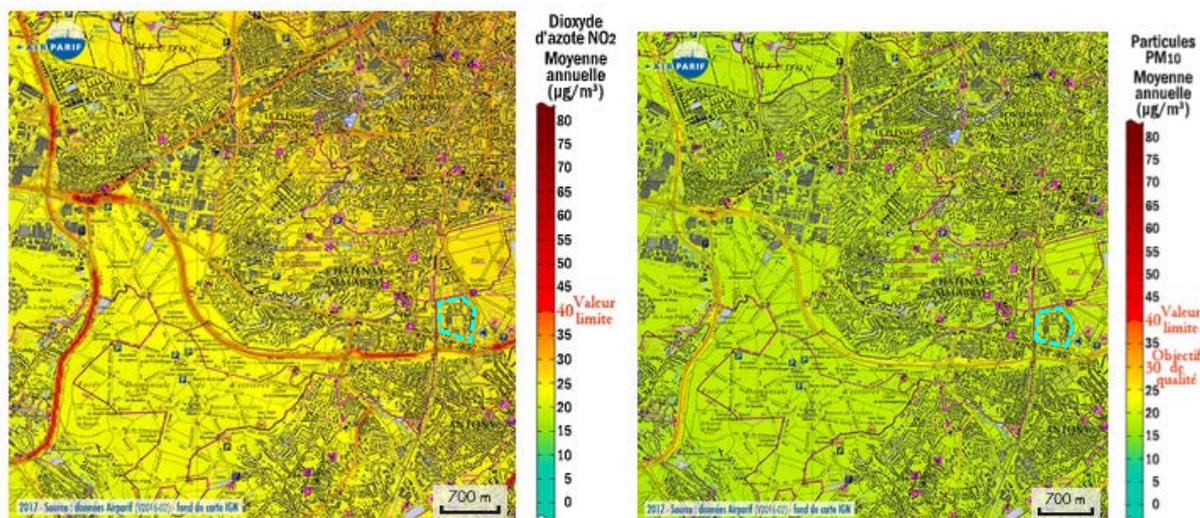


Figure 138: Concentration annuelle de NO2 et particules PM10 en 2017 sur la commune de Châtenay-Malabry (Source: Airparif)

D'après le PLU, les émissions annuelles par habitant en NO2 et PM10 à Châtenay-Malabry sont plus importantes que celles du département et de la région. Ceci est notamment dû au fort trafic routier traversant le territoire (A86, RD986, ...). Toutefois, les émissions de GES et PM25 sont plus faibles qu'à l'échelle de la région. Enfin, les émissions de SO2 et COV sont plus faibles témoignant d'une activité industrielle moins forte que dans le reste de l'Île-de-France.

Une estimation faite par Airparif en 2014 montre que le trafic routier, le secteur tertiaire et résidentiel sont les 2 secteurs d'activité qui représentent le plus d'émission de polluants. En 2012, le trafic routier était ainsi responsable de 75% des émissions de NO2, de plus de la moitié des émissions de PM10 et PM25 et de plus de 40% des émissions de gaz à effet de serre. Le secteur tertiaire et résidentiel émet plus de 90 % du SO2, 55% de GES, 35% de PM25, presque 30% de PM10 et plus de 20% de NO2 (Cf. Figure ci-dessous).

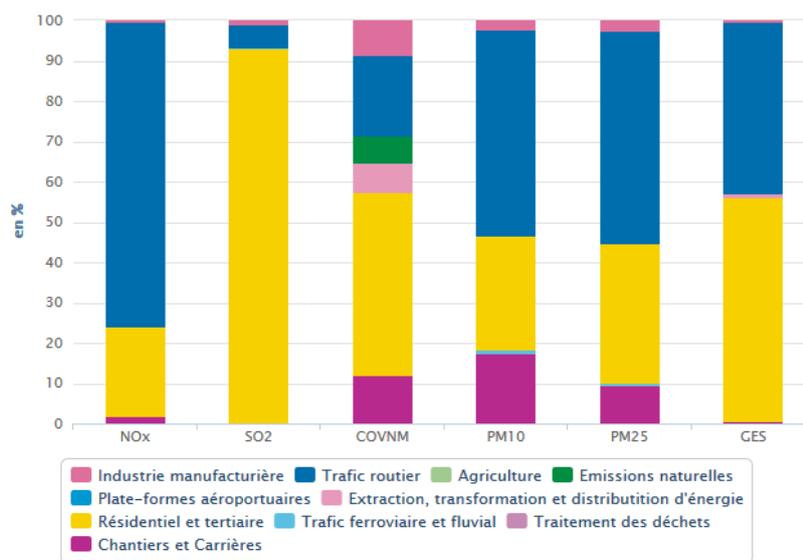


Figure 139: Contribution en % des différents secteurs d'activité aux émissions de polluants pour la commune de Châtenay-Malabry en 2012 (Source : étude 2014 de Airparif)

Les indices de qualité de l'air employé par les différents pays européens peuvent être très différents : prise en compte de certains polluants, échelles de calculs, couleurs et qualificatifs associés. Les indices CITEAIR (Common Information to European air, Interreg IVc) permettent de comparer la qualité de l'air dans près de 90 villes européennes selon la même méthode et le même outil (www.airqualitynow.eu).

A travers une échelle de 5 couleurs allant du vert au rouge (5 classes, qualité de l'air « très bonne » à « très mauvaise »), ils informent sur les polluants les plus problématiques en Europe. Pour l'indice général, les polluants obligatoires sont le NO₂, les PM₁₀ et l'ozone. Les données de CO, PM_{2,5} et SO₂ sont facultatives.

Pour l'année 2018 (Cf. Figure ci-dessous), le bilan de cet indice est plutôt favorable avec un indice Citeair faible pour 74,5% de l'année, voire très faible pour 4,5% de l'année. Cet indice est moyen pour 19,5% de l'année et élevé pour seulement 1,3% de l'année.

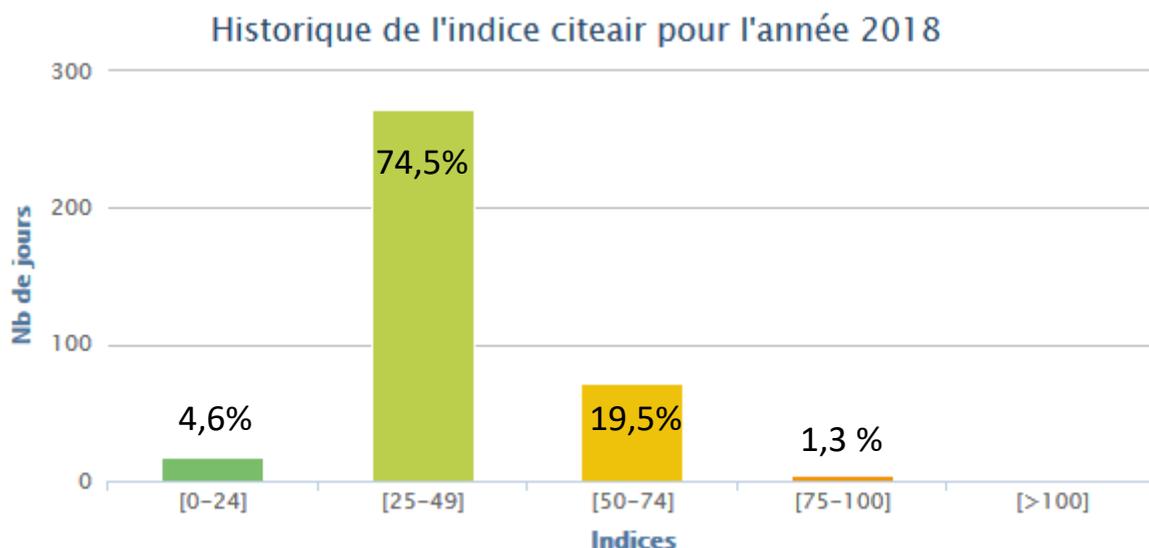


Figure 140 : Répartition de l'indice CITEAIR à Châtenay-Malabry en 2018 (AIRPARIF)

4.3.14 Environnement sonore

4.3.14.1 Niveau sonore sur la commune et le site de la ZAC La Vallée

La Directive européenne 2002/49/CE du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement demande à toutes les grandes aires urbaines de réaliser, à brève échéance, une cartographie stratégique du bruit sur leur territoire.

Suite à la transposition de cette Directive en France (ordonnance ratifiée par la loi n°2005-1319 du 26 octobre 2005), les textes de référence sont notamment :

- le décret n°2006-361 du 24 mars 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement et modifiant le code de l'urbanisme,
- l'arrêté du 4 avril 2006 faisant suite à ce décret ;
- les articles L.572-1 à L.572-11 du Code de l'Environnement (chapitre II : évaluation, prévention et réduction du bruit dans l'environnement) ;
- la circulaire du 7 juin 2007 précisant les conditions d'élaboration des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement ;

- le Plan de Prévention du Bruit dans l'Environnement (PPBE) de Seine-Saint-Denis, approuvé par arrêté préfectoral (n°2013-1364) du 21 mai 2013, des grandes infrastructures routières dont le trafic est supérieur à 6 millions de véhicules par an (16 400 véhicules/jour).

Le PPBE prévoit la réalisation d'un diagnostic acoustique qui permettra de compléter par des isolations de façades et les protections acoustiques existantes.

L'objectif des cartes de bruit est principalement d'établir un référentiel, à l'échelle de grands territoires, qui puisse servir de support aux décisions d'amélioration ou de préservation de l'environnement sonore.

Conformément aux articles L.572-1 à L. 572-11 du Code de l'Environnement, des cartes de bruit (CB) et des PPBE doivent être élaborés pour les grandes infrastructures de transport terrestre (ITT), les principaux aéroports ainsi que les agglomérations de plus de 100 000 habitants, en application de la directive européenne n°2002/49/CE du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement. Les objectifs de ces documents sont :

- l'évaluation et l'exposition au bruit des populations ;
- une information des populations sur ce niveau d'exposition et les effets du bruit ;
- la mise en œuvre de politiques visant à réduire le niveau d'exposition et à préserver des zones de calme.

On distingue:

- Les cartes de type A : elles représentent les zones exposées au bruit à l'aide de courbes isophones indiquant la localisation des émissions de bruit. Elles sont disponibles pour chaque source de bruit, selon les indices Lden et Ln.
- Les cartes de type B : elles représentent les secteurs affectés par le bruit au sens du « classement sonore des infrastructures de transports terrestres » (routier et ferroviaire).
- Les cartes de type C : elles représentent les zones où les valeurs limites, transcrites dans le tableau ci-dessous, sont dépassés.

Les cartes de bruit sont calculées sur la base de modération des données recueillies selon deux indices acoustiques suivant:

- Les indices de journée (Lden) indiquent le niveau sonore moyen sur une journée de 24h (entre 6h et 18h, 18h et 22h puis de 22h à 6h).
- Les indices nocturnes (Ln) indiquent le niveau sonore moyen annuel entre 22h et 6h.

Le dB(A) est l'unité acoustique utilisée pour mesurer l'intensité du bruit. Il est généralement admis qu'en milieu urbain (Cf. Diagnostic Environnement du PLU, p57), un environnement sonore moyen inférieur à 65 dB(A) en Lden peut être considéré comme acceptable.

Le PPBE du département des Hauts-de-Seine a été établi sur la base des cartes stratégiques de bruit réalisées par le Département et l'Etat, et a été approuvé par l'assemblée délibérante départementale le 15 décembre 2017. Les valeurs limites dans le tableau-ci-dessous ont été retenues pour mettre en œuvre des actions de résorption du bruit pour des bâtiments dont les niveaux sonores en façade dépassent ces valeurs.

Indice	Routes et/ou lignes à grandes vitesses	Industries	Aérodrome	Voie ferrée conventionnelle	Cumul Route et/ou LGV, Voie ferré conv
Lden	68 dB(A)	71 dB(A)	55 dB(A)	73 dB(A)	73 dB(A)
Ln	62 dB(A)	60 dB(A)	-	65 dB(A)	65 dB(A)

Tableau 34 : Seuil limite des indices Lden et Ln selon le secteur d'étude (PPBE)

La ville de Châtenay-Malabry cumule les pollutions sonores liées à différentes infrastructures de transports (ferroviaires et routiers) (Cf. Figure suivante).

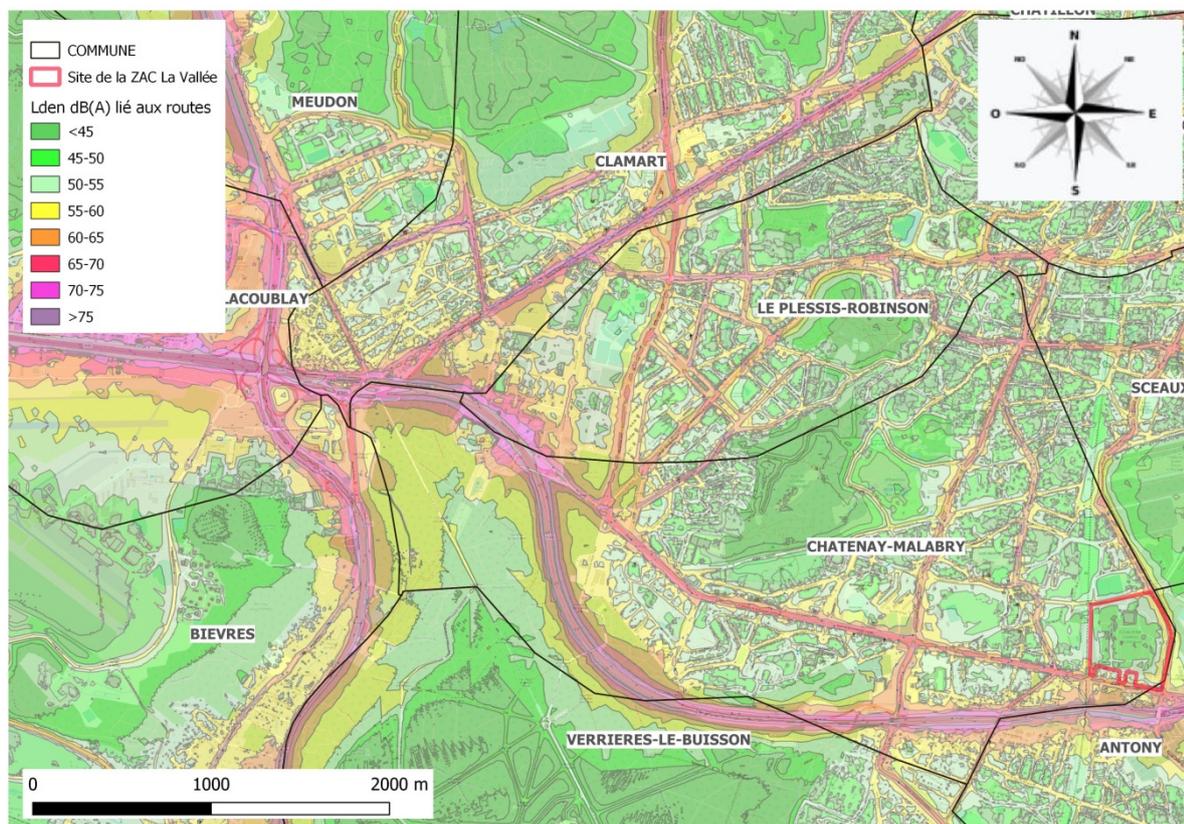
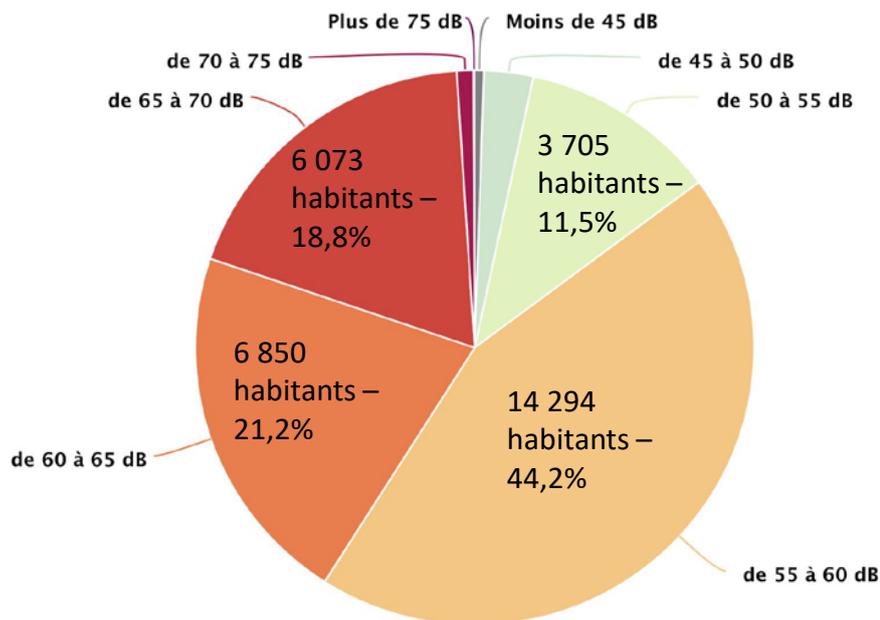


Figure 141: Carte de bruit routier avec l'indice Lden sur une journée complète (Source des données : Bruit Parif)

D'après le PLU, la commune est très exposée aux bruits notamment du fait des infrastructures de transport telles que le périphérique d'Ile-de-France (A86), la RD986 et l'aérodrome de Villacoublay situé à environ 7 km du centre-ville. Ces infrastructures engendrent un bruit ambiant moyen supérieur à 75 dB(A) sur une journée (24h) à leurs abords. Selon les données de l'association Bruitparif (Cf. Figure ci-dessous), environ 6 850 habitants sont exposés à un bruit moyen sur une journée entière entre 60 à 65 dB(A), soit 21,2% de la population de Châtenay-Malabry. Un faible % de la population est exposé à un bruit au-dessus de 75 dB(A) (21 habitants).



Données Bruitparif

Figure 142: Statistique d'exposition des populations au bruit sur la commune de Châtenay-Malabry (Source: <https://carto.bruitparif.fr/>)

Environ 5% de la population sont exposés à un bruit moyen supérieur à la limite réglementaire de 68 dB(A) pour l'indicateur Lden. Il est à noter que la forêt domaniale de Verrières constitue un espace tampon entre les habitations et infrastructures génératrices de nuisances sonores comme l'A86.

La carte des zones de dépassement des valeurs limites indiquent quelques zones localisées près du site mais en dehors de la zone de la ZAC, au plus près de l'avenue de la division Leclerc (RD986).

Le site d'étude pour l'implantation du futur chantier de forage est exposé au Sud et à l'Est au bruit routier, ainsi qu'au bruit ferroviaire plus localement à l'Ouest. Hormis les abords immédiats de ces infrastructures, la majorité du site de la ZAC La Vallée est relativement préservée du bruit.

Pour préciser le niveau sonore initial du site de la ZAC La Vallée avant le début de l'aménagement de l'éco-quartier, une campagne de mesure acoustique s'est déroulée du 8 au 12 février 2016. Six points de mesure longue durée et six sondages de 30min ont été effectués sur le site, des comptages routiers réalisés au même moment ont permis de confirmer que le niveau du trafic routier était représentatif d'une situation hors congé scolaire.

Les mesures montrent des niveaux sonores globalement faibles, entre 50 et 67 dB(A) de jour, entre 43,5 et 60 dB(A) de nuit. A partir de ces mesures, un outil de modélisation acoustique a été utilisé pour produire une carte de l'état sonore initial du bruit avec l'indicateur LAeq (Niveau de pression acoustique équivalent), établie à 4 m de hauteur pour la période jour et la période nuit (Cf. figure suivante). Le site du chantier de forage du puits injecteur est exposé à un bruit plus important que le site du chantier du puits de production.

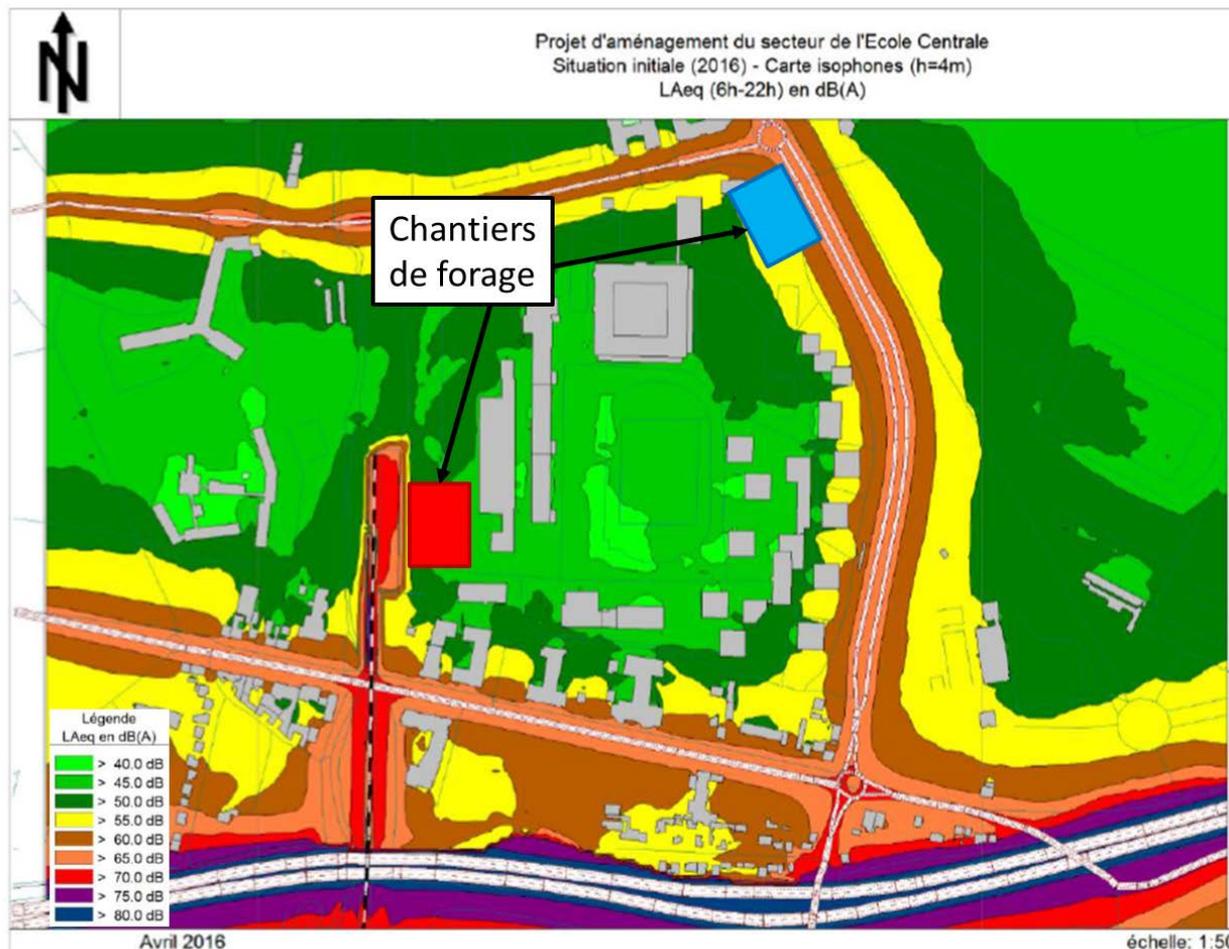


Figure 143: Situation sonore initiale du site de la ZAC en 2016 (Source : Etude d'impact ZAC, Even Conseil, Avril 2018)

Le bâtiment qui hébergera la PAC est situé dans un environnement initialement calme. Cette carte de bruit dépend des hypothèses d'entrée du modèle, notamment sur la hauteur et disposition des bâtiments. Etant donné les travaux engagés sur le site de la ZAC depuis cette modélisation avec la démolition des bâtiments existant, l'état initial du site lors de la phase chantier et lors de la phase exploitation de l'opération de géothermie sera vraisemblablement différent.

4.3.14.2 Relation du site avec les « secteurs affectés par le bruit » des grandes infrastructures

L'article L.571-10 du Code de l'Environnement et l'arrêté préfectoral N°00-0784 du 13 mars 2000, relatif à la lutte contre le bruit, recense et classe les infrastructures routières et ferroviaires (transports terrestres) en fonction du niveau sonore et du trafic. Il s'agit de classer le réseau de transports terrestres en tronçons auxquels sont affectés une catégorie sonore et la délimitation de secteurs dits « affectés par le bruit », dans lesquels les futurs bâtiments sensibles (notamment d'habitation) devront présenter une isolation acoustique renforcée

Des bandes sonores affectées par le bruit sont délimitées de part et d'autre de ces infrastructures classées et dont la largeur dépend de la catégorie de la voie. A l'intérieur de ces bandes sonores, toute nouvelle construction (habitation, enseignement, hôpitaux, hôtels) concernée doit présenter un isolement acoustique minimum contre les bruits extérieurs. Ce classement sonore est opposable et se distingue des cartes de bruit,

qui sont destinées à permettre l'évaluation globale de l'exposition au bruit dans l'environnement et à établir des prévisions générales de son évolution. (Cf. Tableau 35).

Le niveau sonore est ici évalué avec l'indicateur LAeq jour (6h-22h) et LAeq nuit (22h-6h) qui correspondent à la moyenne de l'énergie sonore cumulée sur les périodes diurnes et nocturnes pour l'ensemble des bruits observés.

Catégories	Niveau sonore L _{aeq} le jour en dB (A)	Niveau sonore L _{aeq} la nuit en dB (A)	Largeur max des zones affectées par le bruit	Les infrastructures concernées (exemples)
Catégorie 1	L > 81	L > 76	300 mètres	Autoroute A86
Catégorie 2	76 < L ≤ 81	71 < L ≤ 76	250 mètres	Ligne TGV Atlantique, N186, D986/A86 (limite communale Ouest)
Catégorie 3	70 < L ≤ 76	65 < L ≤ 71	100 mètres	D986, D63 et D67 partiellement, D2, D75, D128, D60
Catégorie 4	65 < L ≤ 70	60 < L ≤ 65	30 mètres	D63 et D67 partiellement, D128
Catégorie 5	60 < L ≤ 65	55 < L ≤ 60	10 mètres	-

Tableau 35 : Niveaux sonores de référence déterminant les secteurs ou les constructions soumis à des obligations d'isolement acoustique (PLU)

Trois grandes infrastructures terrestres sont classées sur le territoire:

- l'autoroute A86 en catégorie 1
- la LGV Atlantique en catégorie 2
- Les RD67 et RD986 en catégorie 3

Le site est situé dans la zone d'influence de de ces infrastructures et rentre ainsi dans la catégorie « secteurs affectés par le bruit ». Dans ces secteurs, les constructeurs doivent respecter les règles de confort acoustique pour parvenir à limiter le niveau de bruit à l'intérieur des nouvelles constructions. Pour l'opération de géothermie de la ZAC La Vallée, seule la chaufferie centralisée accueillera ponctuellement du personnel, seule cette construction sera concernée par ces dispositifs.

Classement sonore des infrastructures de transport et leurs emprises sur le territoire
CITADIA - PLU de Châtenay-Malabry - Février 2010

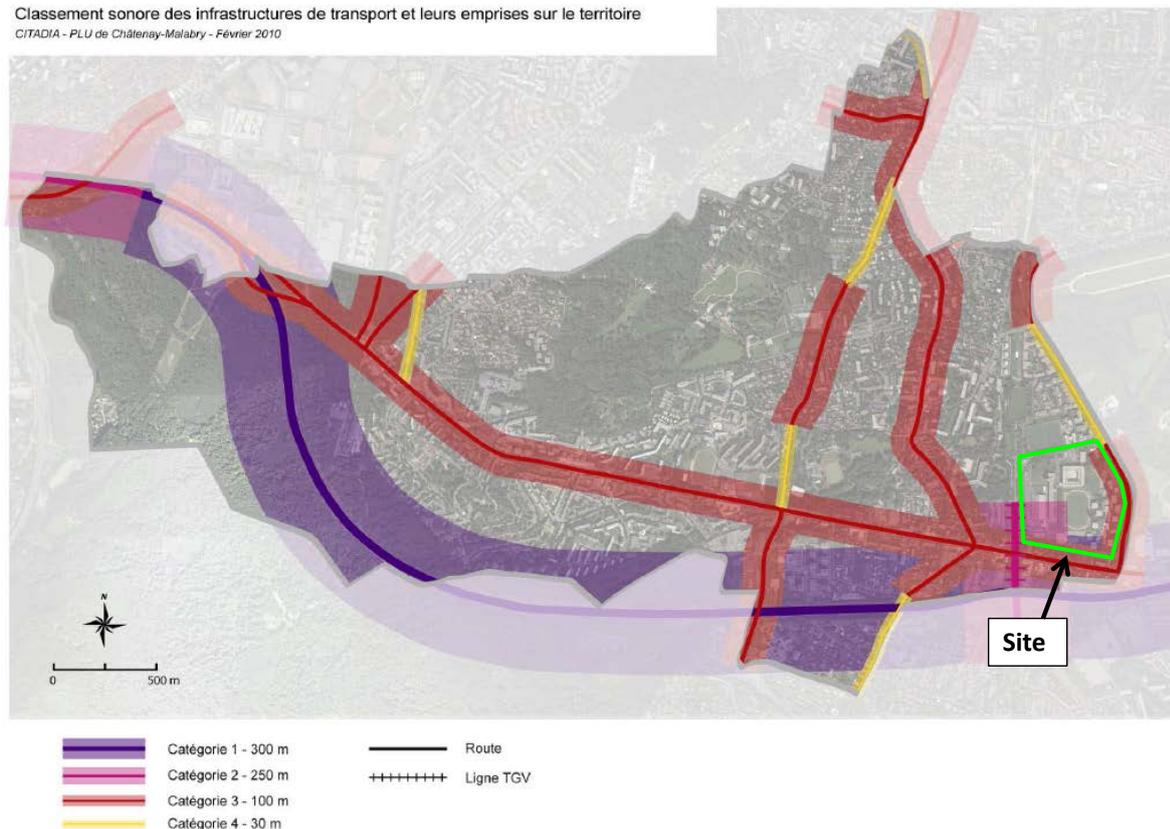


Figure 144: Plan de classement des infrastructures routières et ferroviaires (extrait PLU 2017)

4.3.15 Urbanismes et servitudes

4.3.15.1 Réglementation – Code de l'urbanisme relatif au site situé sur la commune

Le Plan Local d'Urbanisme (PLU) est un document d'urbanisme et de planification élaboré à l'initiative et sous la responsabilité des communes.

Il en définit les orientations urbanistiques. Le projet de PLU est soumis à enquête publique par le maire, puis il est approuvé par délibération du conseil municipal.

Le conseil municipal de Châtenay-Malabry a approuvé le 20 décembre 2012 le Plan Local d'Urbanisme de la commune. Ce PLU a été mis à jour et modifié plusieurs fois en 2015, 2016 et 2017, notamment par le président de l'établissement Public Territorial (EPT) Vallée Sud- Grand Paris, puisque l'EPT est compétent en matière d'urbanisme depuis janvier 2016 en lieu et place des communes. La modification simplifiée du PLU sur la zone d'aménagement concertée Châtenay-Malabry Parc Centrale a été approuvée lors du Conseil de Territoire de fin mai 2019.

Une troisième modification du PLU engagée en avril 2019 par le président de l'EPT a reçu un avis favorable du commissaire enquêteur en août 2019 après un mois d'enquête publique. Cette modification porte essentiellement sur la protection de l'habitat pavillonnaire, la modification du PLU devrait être approuvée fin septembre 2019.

Les orientations du PADD sont axées sur les thèmes suivant :

- Faire évoluer le schéma urbain en adaptant les évolutions des quartiers en fonction de leur identité, en restructurant l'avenue du Général Leclerc autour du nouveau tramway, en créant de nouveaux secteurs exemplaires après la délocalisation de l'Ecole Centrale Paris et de la faculté de pharmacie.

- Ambitionner un territoire vert en valorisant les mesures allant dans le sens d'une réduction des pressions exercées par l'urbanisation sur l'environnement (maintien de la biodiversité, mise en valeur du patrimoine naturel, préservation des habitants par rapport aux nuisances)
- Faire vivre la ville en relançant la dynamique démographique et celle de l'emploi, notamment par les connections sociales et commerciales des quartiers.

Conformément à la loi S.R.U. du 13 Décembre 2000, l'intégralité du territoire communal se voit couvert par un plan de zonage qui, compte tenu de la configuration du territoire, comprend trois familles de zones :

- les zones urbaines, dites zones U,
- les zones à urbaniser, dites zones AU,
- les zones naturelles, dites zones N.

Le plan de zonage délimite aussi des secteurs particuliers, comme les espaces boisés classés ou les emplacements réservés notamment pour la construction future d'équipements publics.

Chaque zone réunit des ensembles pour lesquels un projet commun d'évolution ou de protection a été adopté, en cohérence avec le PADD.

Le projet de PLU (Règlement VF de 2019) comprend 10 zones :

- La zone Ut concerne une grande partie de l'axe de l'avenue de la Division Leclerc ainsi que ses abords. Elle a vocation à muter du fait de l'arrivée du tramway notamment en permettant la densification du tissu urbain.
- La zone Uc regroupe les espaces de la ville occupés par de grands ensembles collectifs. Des possibilités de rénovation pour les quartiers de la Butte rouge et de la Cité des Peintres ont été ouvertes en inscrivant ces deux quartiers en zone Ucj.
- La zone Uf est essentiellement dédiée à l'activité dans les parties Nord et Nord-Ouest de Chatenay avec un projet de ZAC dans cette dernière.
- La zone Um regroupe du tissu pavillonnaire et des ensembles collectifs et s'attache à maintenir une cohabitation entre ces 2 éléments.
- La zone Ua est une zone mixte caractérisée par l'imbrication de constructions à usage d'habitation, de services et d'activité recouvrant le centre ancien de la commune.
- La zone Up concerne les secteurs pavillonnaires de la commune. Des évolutions sont permises dans la limite du respect du caractère résidentiel du tissu urbain.
- La zone UPM couvre le secteur du Carrefour Salvador Allende, îlots sud.
- La zone Uz couvre l'ancienne ZAC des Friches et des Houssières, l'habitat y est majoritairement collectif.
- **La zone UEC est une zone de renouvellement urbain suite au départ de l'Ecole Centrale Paris.**
- La zone N regroupe les espaces naturels et forestiers à protéger, elle englobe la forêt de Verrières, le Parc de la Vallée aux Loups, la coulée verte et une grande partie du CREPS.

Les documents d'urbanisme locaux (SCOT, PLU, POS et cartes communales) doivent être rendus compatibles avec le projet du Grand Paris et les projets urbains en cours de conception ou de réalisation, les objectifs de protection définis par le SAGE Nappe de Beauce et par le SDAGE du bassin Seine-Normandie. Le PLU prend également en compte les Schémas Départementaux des Carrières et exploitation des matériaux (SDC) ainsi que les différents documents supra communaux (Schéma Directeur Régional d'Ile de France, Plan de

Déplacement Urbain d'Ile de France, Schéma Régional de Cohérence Ecologique, Plan Départemental d'Elimination des Déchets Ménagers et Assimilés, Schéma Régional Climat Air Energie).

Dans le PLU de Chatenay-Malabry, le site du projet appartient à la zone UEC qui est dédiée à la création de l'éco-quartier de La Vallée (Cf. Figure 145). Le PLU indique que cette zone fait l'objet d'une Opération d'Aménagement Programmée. Les travaux d'aménagement de l'éco quartier ayant commencé, l'environnement du site au moment du lancement du chantier de géothermie sera différent de l'état actuel.

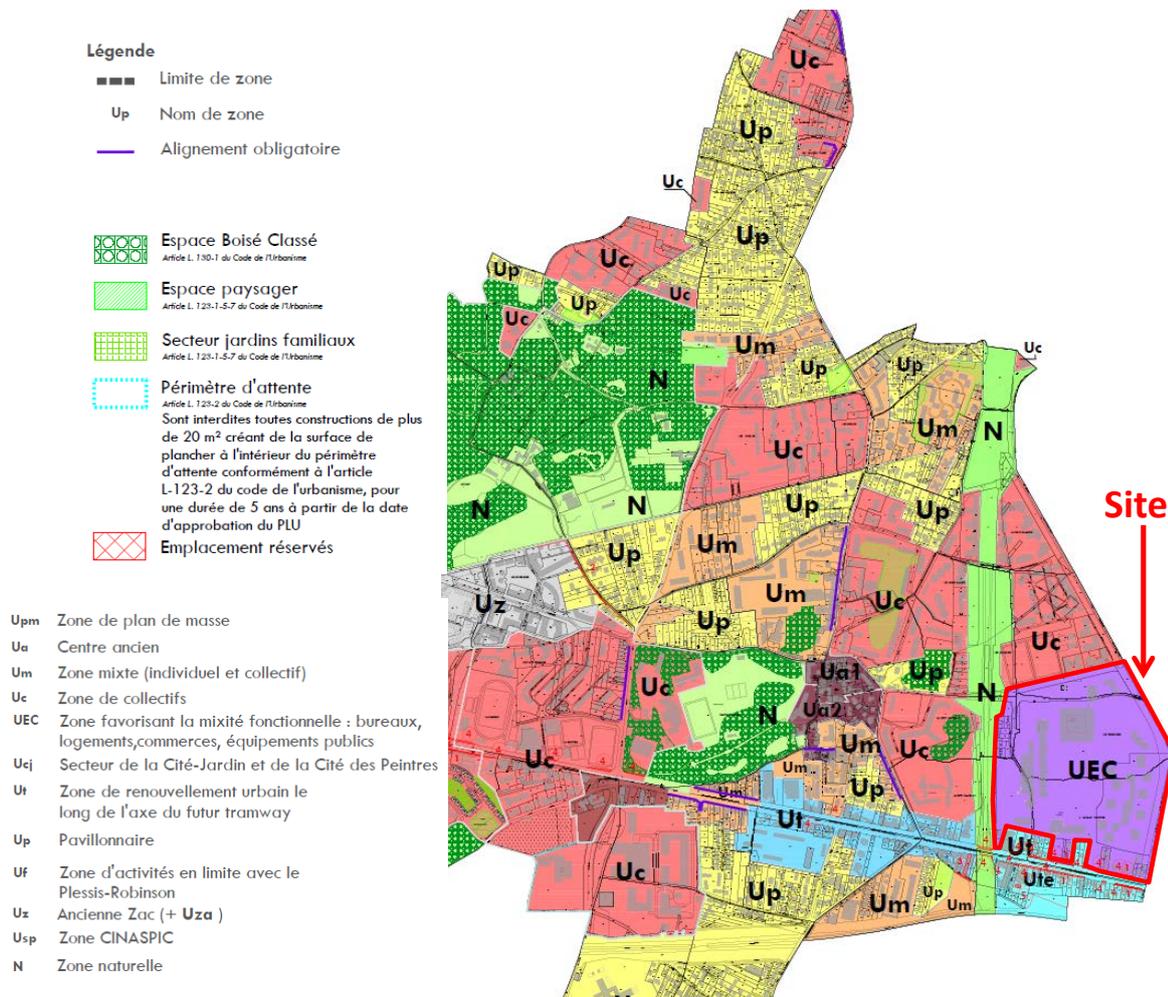


Figure 145 : Zonage du PLU de la commune autour du site d'implantation du chantier

Selon les dispositions applicables à l'ensemble de cette zone, sont interdites toutes les occupations et utilisations du sol décrites aux sections UEC.1 et UEC.2 de la zone UEC du règlement du PLU. A savoir :

- Les installations destinées à l'exploitation forestière, à l'industrie
- Les installations à destination d'entrepôt
- Le stationnement de caravanes constituant un habitat permanent, camping, habitations légères de loisirs
- Les dépôts de ferrailles, matériaux, combustibles solides ou liquides, sauf si ces stockages temporaires sont nécessaires aux Constructions et Installations Nécessaires aux Services Publics ou d'Intérêts Collectif.
- Les installations classées de déchets non ménagers

- Les installations classées de carrières (matériaux, minéraux, métaux)

Sous réserves de conditions particulières, les occupations et utilisations du sol suivantes sont autorisées :

- Les exhaussements ou affouillements du sol nécessaires à la réalisation des utilisations du sol admises dans la zone et qu'ils contribuent à l'amélioration de l'environnement ou qu'ils soient nécessaires pour des raisons fonctionnelles ou de raccordement aux réseaux.
- Les installations classées, à l'exception de celles mentionnées ci-dessus, si elles correspondent à des besoins nécessaires de la vie de quartier et qu'elles soient rendues compatibles avec le milieu environnant pour éviter les nuisances et les dangers éventuels.
- Les constructions et installations nécessaires aux services publics et d'intérêt collectif

Dans les définitions du PLU, les chaufferies collectives sont incluses dans les constructions et installations nécessaires au service public ou d'intérêt collectif.

Le projet de forage du doublet géothermique et l'exploitation géothermique de Chatenay-Malabry sont donc compatibles avec les conditions d'occupation et d'utilisations décrites aux chapitres de la zone UEC du règlement du PLU 2019.

L'occupation ou utilisation d'ouvrages liées à l'exploitation de la géothermie sont admises sous condition de répondre aux articles du PLU qui prescrivent certaines caractéristiques urbaines, architecturales, paysagères, environnementales, certaines conditions de raccordements aux réseaux existants (assainissement, eau potable, eau pluviale, électricité...), d'alignement des constructions, d'accès à la voirie, d'implantation et de hauteur des constructions, d'aspect extérieur et de stationnement.

Ainsi, la zone UEC du PLU pour les deux sites de forage et le site d'implantation de la centrale :

- limite à la côte +93,90 m NGF la hauteur des bâtiments (article 10)
- fixe l'emprise maximum au sol des constructions à 60% de la superficie totale de l'unité foncière (Article 9).
- les terrains modifiés devront comporter des espaces verts sur au moins 30 % de leur superficie, dont la moitié en pleine terre, cette superficie s'obtenant en additionnant les surfaces pondérées (article 13).

Le projet est situé sur une zone OAP (Opération d'Aménagement particulier) qui fixe les objectifs suivants :

- Recréer une couture urbaine et valoriser l'image du territoire
- Faire une large part aux espaces verts et renforcer la trame verte avec la continuité écologique entre la forêt de Verrière et la Parc de Sceaux.
- Faire du site un lieu de rencontre des 3 « villes » que sont la ville faubourg continue avec le centre-ville, la ville parc près du Parc de Sceaux, la ville intense le long du tramway. Cet objectif passe par le désenclavement du site, la création de lieux d'échanges, le développement des commerces de proximité, une programmation d'équipements à multiplicité de fonctions et de publics.

Ces objectifs sont illustrés sur la figure-ci-dessous avec la localisation des sites de forage et du réseau de chaleur.

Le projet de forage des puits et l'exploitation géothermique de la ZAC La Vallée, situé à proximité d'établissements scolaires, est compatible avec le caractère du voisinage. La mise en place de mesures de protection de l'environnement, de mesures compensatoires et de mise en sécurité du public sur la durée courte du chantier ne portera pas atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique (Cf. paragraphe 4.4.14 et Chapitre 6).

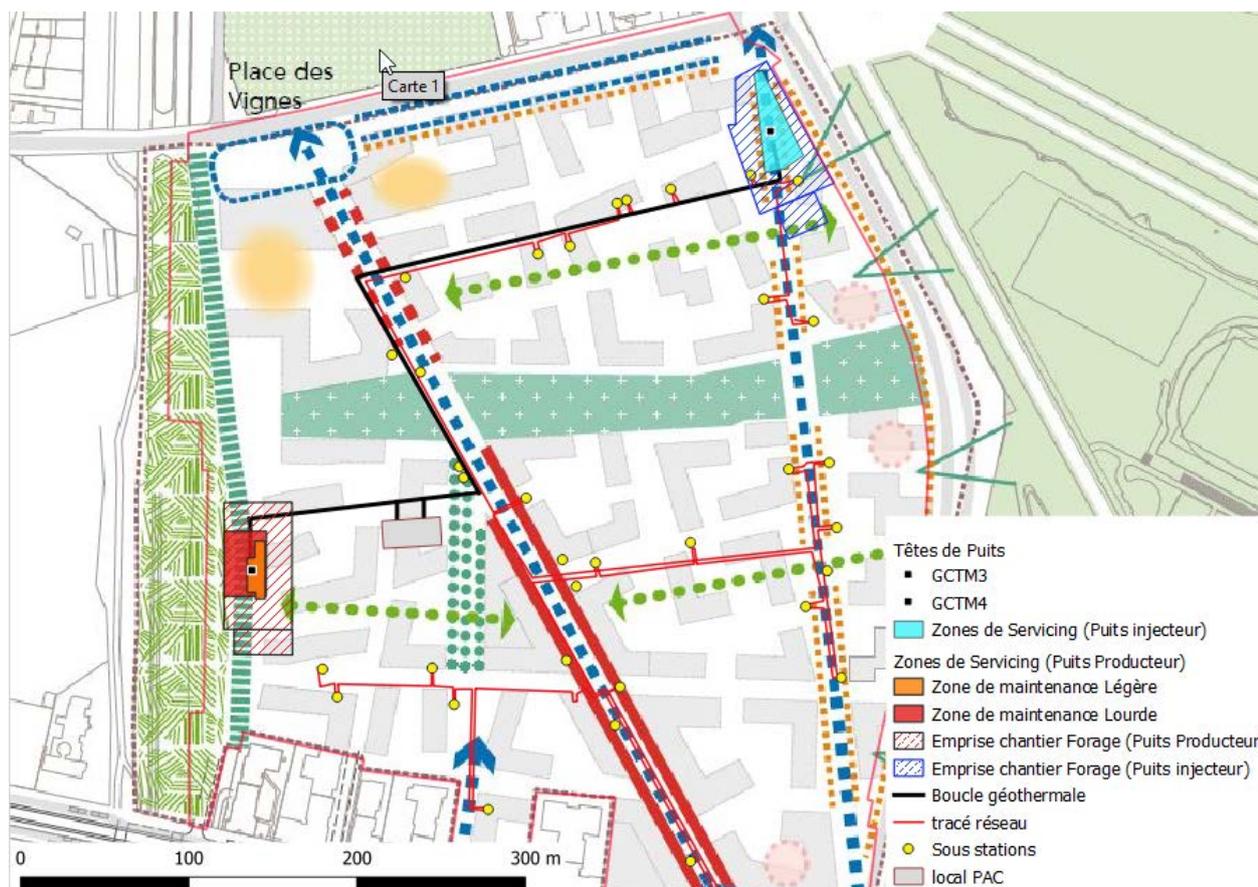


Figure 146: Orientations de l'OAP du PLU de Chatenay-Malabry

4.3.15.2 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.

Ces servitudes sont instituées indépendamment du Plan Local d'Urbanisme par des actes administratifs spécifiques. Les servitudes d'utilité publique entraînent des restrictions de l'utilisation des sols, dont les prescriptions et restrictions sont définies dans les textes annexes au plan d'occupation des sols.

Le territoire communal est contraint (PPBE, infrastructures de transports, servitudes diverses) à l'exception des monuments et bois classés.

La Ville de Chatenay-Malabry et le département disposent d'un Droit de Préemption Urbain ou Renforcé (DPU / DPUR) concernant des emplacements réservés inscrits dans le PLU.

L'aire du chantier ne fait pas partie d'une zone concernée par un droit de préemption.

Le site d'étude n'est pas concerné par les servitudes suivantes (Cf. Figure 148) :

- Des servitudes relatives à la protection des sites pittoresques,

- Servitude aéronautique de dégagement et de balisage
- Servitudes liés aux hydrocarbures liquides ou liquéfiés sous pression
- Servitudes liées à l'établissement de canalisations de transport et de distribution de gaz
- Servitudes relatives à l'établissement de canalisations électriques
- Servitudes relatives aux transmissions radio électriques type obstacles
- Servitudes de halage
- Servitude liée aux chemins de fer
- Un plan de prévention des risques technologiques (PPRt) ni par un plan de prévention des risques miniers (PPRm) ou d'inondation (PPRi), ni par un plan de prévention lié au phénomène de retrait/gonflement des argiles ou du plan de prévention des risques cavités souterraines (PPRn) des Hauts-de-Seine.
- Un plan de réglementation sur les secteurs d'information des sols (SIS).
- Servitude relative aux transmissions radioélectriques types perturbations électromagnétiques

Le site d'étude est concerné par les servitudes suivantes :

- **Une servitude liée à la protection du patrimoine historique avec le domaine de Sceaux et l'Eglise Saint-Germain l'Auxerrois.**

Les variations de la quantité d'eau dans certains terrains argileux produisent des gonflements (période humide) et des tassements (périodes sèches). L'aléa de mouvements de terrain dans le secteur d'étude lié au phénomène de gonflement/retrait des argiles est considéré comme fort (Cf. paragraphe 4.3.17.2).

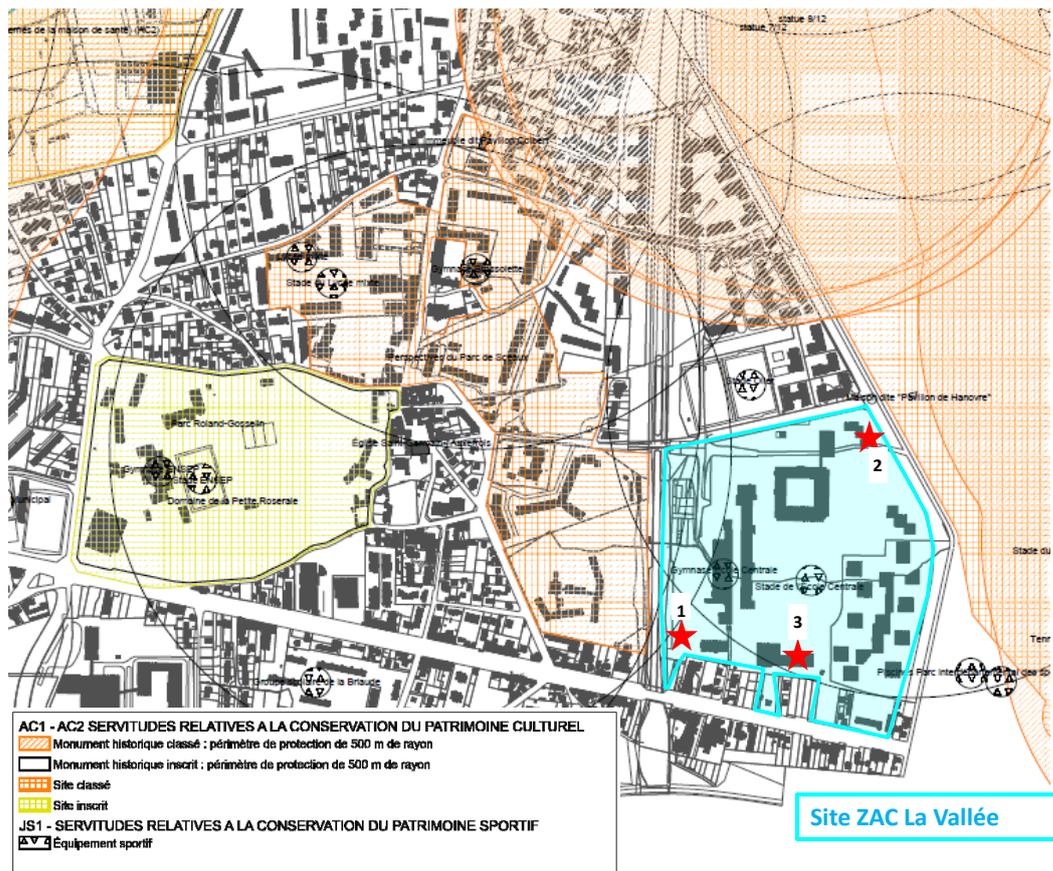


Figure 147: Servitudes d'Utilité Publiques liées à la conservation du patrimoine culturel et sportif (PLU 2017) ; 1 : site du forage de production, 2 : site du forage d'injection ; 3 : site de la chaufferie centralisée

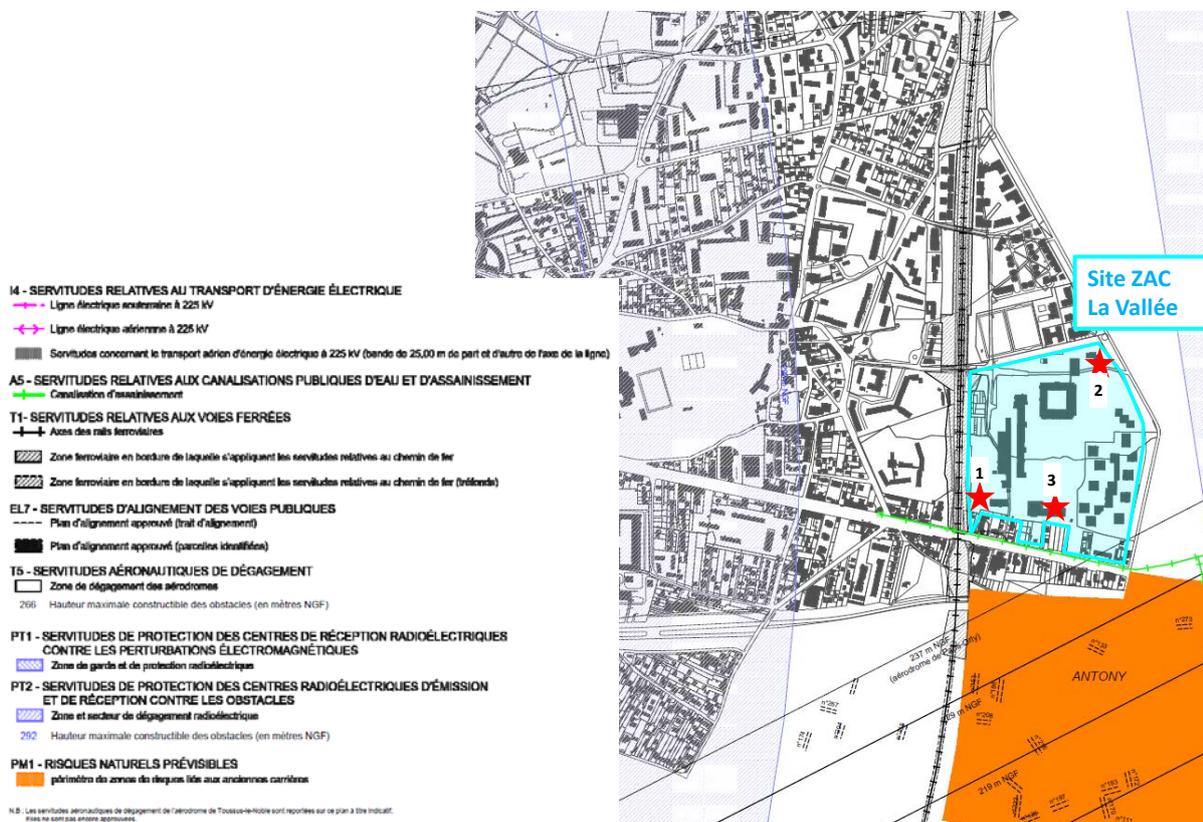


Figure 148: Servitudes d'Utilité Publiques liées à l'utilisation de certains équipements, ressources et à la santé publique (PLU 2017)

4.3.15.3 Servitudes relatives à la conservation du patrimoine

Aucun édifice patrimonial, Zone de Protection du Patrimoine Architectural, Urbain et Paysager (ZPPAUP) ou Aire de Mise en Valeur de l'Architecture et du Patrimoine (AMVAP) et patrimoine archéologique n'est situé dans l'aire d'étude.

Aucun monument historique, ni site inscrit ou classé, n'existe au sein de l'aire d'étude. Le projet n'aura donc aucun impact sur le patrimoine culturel ou naturel.

Cependant, le site de géothermie s'inscrit dans les périmètres de protection de deux monuments historiques : le domaine de Sceaux et l'église Saint-Germain l'Auxerrois. Ces servitudes impliquent qu'une attention particulière soit portée à la qualité architecturale et à l'insertion paysagère de nouveaux projets sur le site de la ZAC La Vallée. Les têtes de puits de géothermie seront situées dans des caves, ce qui n'impactera pas le paysage.

Une ZPAAUP est localisée dans la ville de Sceaux mais n'influe pas le site de la ZAC.

4.3.15.4 Servitudes aéronautiques de dégagement

L'aérodrome de Tournus-Le-Noble est situé à environ 5 km à l'ouest du site, les servitudes d'altitude liées à cet aérodrome ne concernent pas le site.

L'aérodrome d'Orly est localisé à environ 5,5 km au Sud-Est du site, les servitudes de dégagement liées à cet aérodrome ne concernent pas le site.

Une balise lumineuse de faible puissance signalera la position du mât la nuit pour des raisons de sécurité aérienne. De jour, le mât est rendu visible par des couleurs anticollisions.

4.3.15.5 Réseaux et transport de matières dangereuses

Dans le cadre de l'aménagement de la ZAC, les réseaux enterrés de l'ancien site de l'Ecole Centrale ont été désinstallés pour les rendre plus en adéquation avec les besoins des futurs usagers du site. Au droit du futur site d'implantation, les plans des nouveaux réseaux enterrés (conduites de gaz, téléphone, réseaux d'assainissement, réseau d'eau potable...) seront identifiés une fois les VRD posés.

Avant le début du chantier, les entreprises chargées du terrassement et de la réalisation des forages procéderont à une demande de renseignements et à une Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT) afin de localiser d'éventuels réseaux présents sur le site.

Le Transport de Matières Dangereuses (TMD) ne concerne pas seulement les produits hautement toxiques, explosifs ou polluants, mais aussi ceux d'origine courante comme les carburants, le gaz, les engrais et qui en cas d'événement peut présenter des risques pour les populations et l'environnement. Le risque TMD est consécutif à un accident se produisant lors du transport de ces matières.

La commune est citée au dossier départemental des risques majeurs pour les risques liés au transport. Le risque par voie routière et par voie ferrée : le risque technologique potentiel sur le territoire communal est dû à la présence d'axes de transits majeurs (A86, N186) passant au cœur de la commune où est autorisé le transport de matières dangereuses pouvant causer des dommages environnementaux. Ces axes sont à risque en fonction de l'importance du trafic journalier (Cf. Figure suivante).

Le PLU indique une canalisation de gaz exploitée par GRT gaz – Val de Seine existant à la limite communale avec Sceaux et le Plessis-Robinson. Les contraintes d'urbanisation liées à cette canalisation n'ont pas d'incidence sur le site.

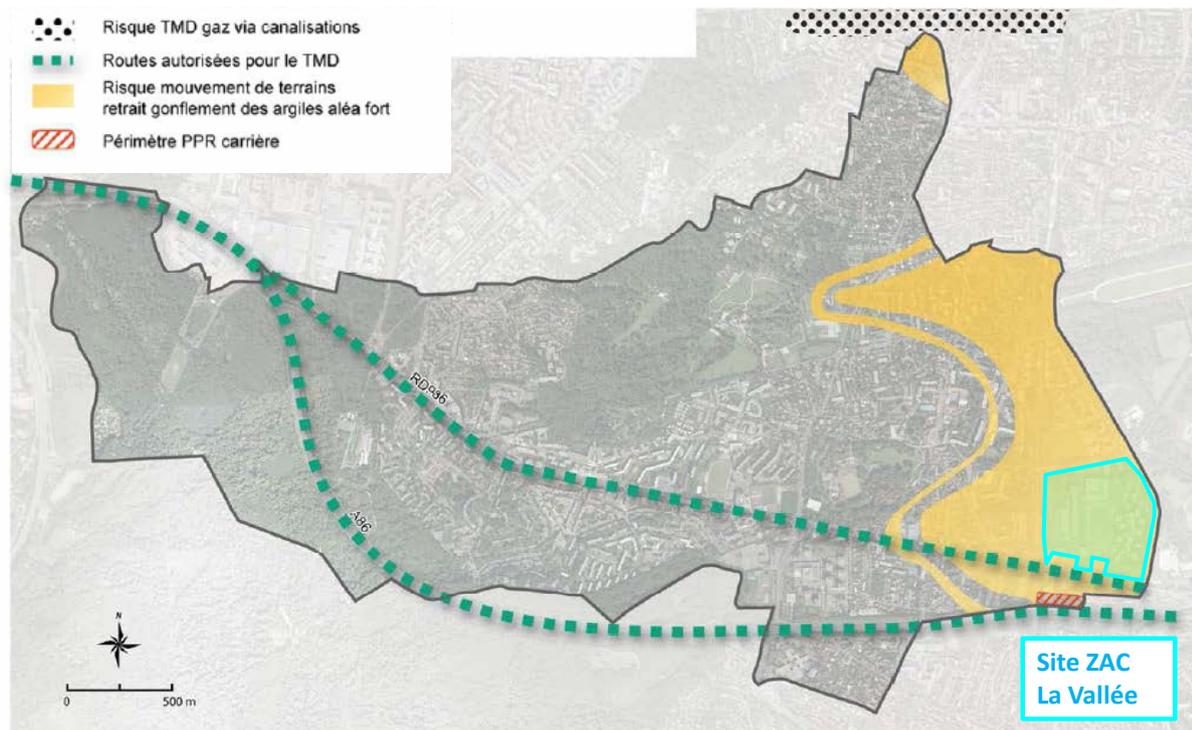


Figure 149: Risques TMD sur la commune de Châtenay-Malabry (PLU 2017)

4.3.15.6 Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD)

Dans son Plan Local d'Urbanisme, la municipalité souhaite intégrer ses projets importants dans la réflexion sur le projet de ville.

En application des articles L 123-1-8° et R 123-11 du Code de l'Urbanisme, des emplacements réservés pour voies, ouvrages publics, installations d'intérêt général et espaces verts peuvent être inscrits dans le P.L.U.

Les orientations du PADD sont axées sur les thèmes suivant :

- Faire évoluer le schéma urbain en adaptant les évolutions des quartiers en fonction de leur identité, en restructurant l'avenue du Général Leclerc autour du nouveau tramway, en recréant de nouveaux secteurs exemplaires après la délocalisation de l'Ecole Centrale Paris et de la faculté de pharmacie.
- Ambitionner un territoire vert en valorisant les mesures allant dans le sens d'une réduction des pressions exercées par l'urbanisation sur l'environnement (maintien de la biodiversité, mise en valeur du patrimoine naturel, préservation des habitants par rapport aux nuisances)
- Faire vivre la ville en relançant la dynamique démographique et celle de l'emploi, notamment par les connections sociales et commerciales des quartiers.

Le site du chantier fait partie d'une OAP liée au PADD qui vise à développer le site de l'ancienne Ecole Centrale via la création d'un éco-quartier.

Suite à la réalisation des puits sur le futur chantier de forage, une centrale de géothermie sera construite sur le site qui permettra de remplir l'objectif n°2 du PADD en inscrivant le projet d'aménagement de l'ancien site de l'Ecole Centrale dans une politique d'énergie renouvelable.

Le projet majeur qui affectera les alentours du site de la ZAC est celui du tramway Antony-Clamart, La Croix-de-Berny (Antony) – Place de Garde (Clamart), dont la mise en service est prévue pour 2021. Le nouveau tramway traversera Châtenay-Malabry par la RD986 et passera directement au Sud du site (Cf. Figure ci-dessous).

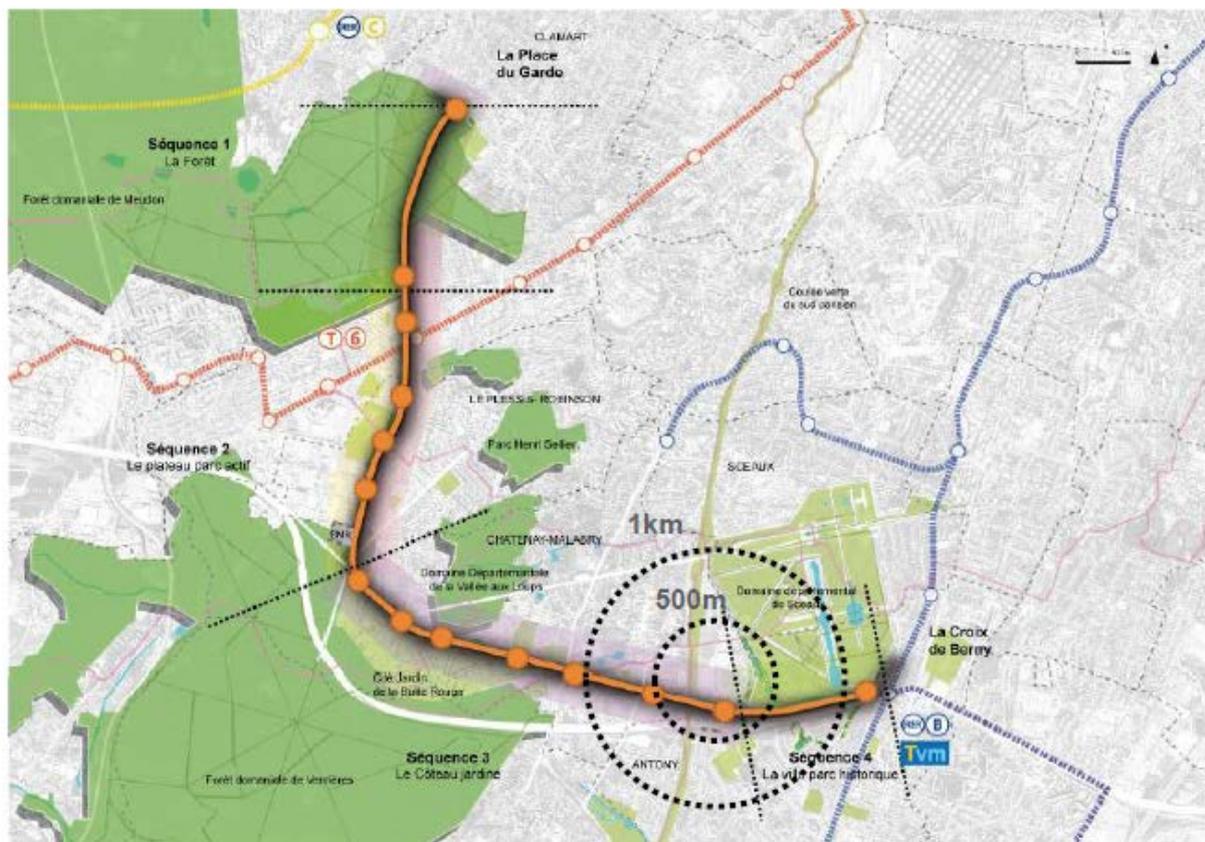


Figure 150: Tracé du futur tramway passant au sud du site de la ZAC LA Vallée (Source : Etude d'impact environnemental, Even Conseil, avril 2018)

4.3.16 Servitudes au titre du Code Minier

La région Ile De France recelant de ressources en hydrocarbures, des permis miniers, visant des réservoirs à huiles existent au titre de demande d'exploration ou d'exploitation et des demandes de permis miniers sont en cours.

Aucune demande de permis exclusif de recherche et de titres d'exploitation d'hydrocarbures ne concerne la commune de Châtenay-Malabry et ses environs (Cf. Figure 151).

S'agissant du risque minier: la commune n'est pas concernée par un Plan de Prévention des Risques miniers (PPRm).

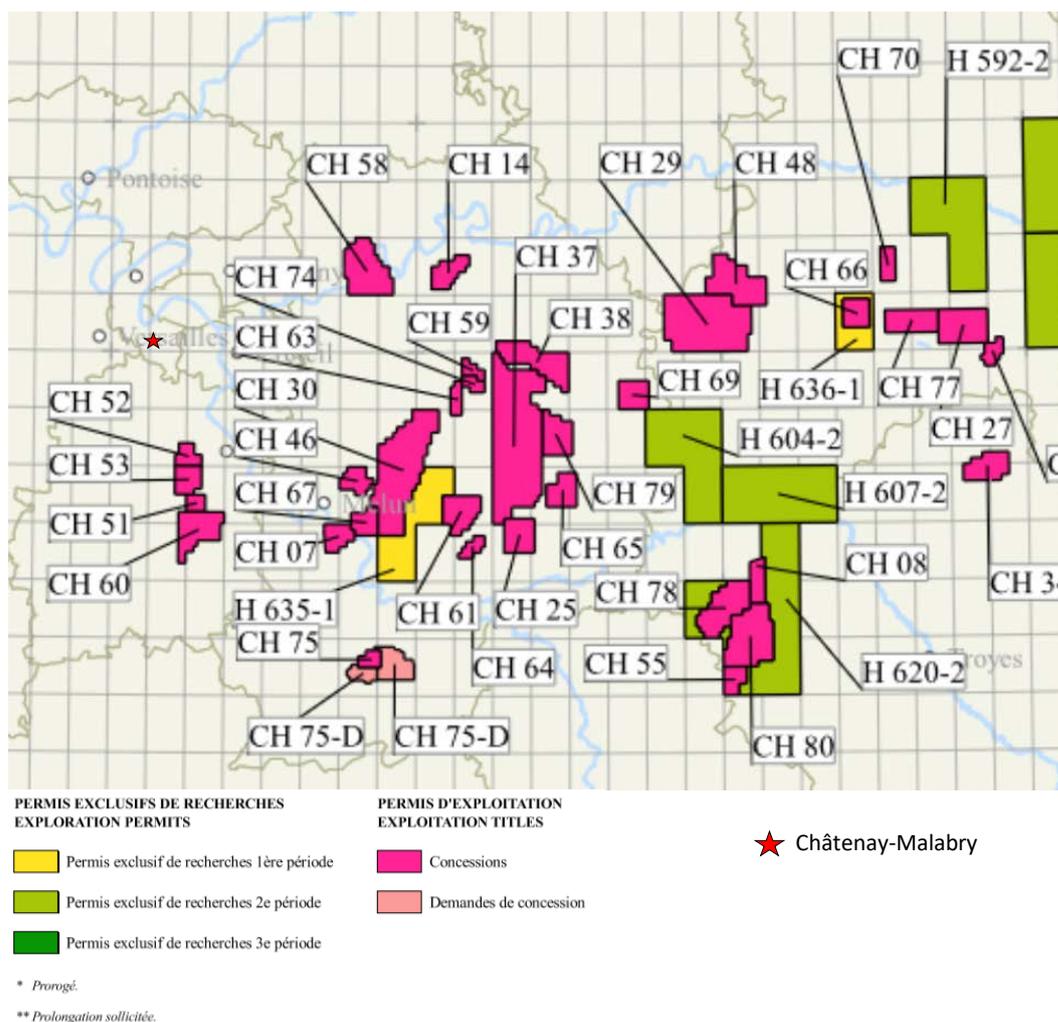


Figure 151 : Permis miniers relatifs aux hydrocarbures liquides et gazeux en Ile de France (situation au 1^{er} Juillet 2019, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable)

4.3.17 Risques industriels et naturels

4.3.17.1 Risques industriels

Sites BASOL

Un site pollué est un site qui, du fait d'anciens dépôts de déchets ou d'infiltration de substances polluantes, présente une pollution susceptible de provoquer une nuisance ou un risque pérenne pour les personnes ou l'environnement. Les sites et sols pollués sont recensés dans la base de données BASOL du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement.

Aucun site BASOL n'est recensé à Châtenay-Malabry.

Les sites BASOL les plus proches sont situés sur les communes voisines : le site Aventis Pharma à Antony (1,7 km du puits d'injection), Société des Pétroles Shell au Plessis-Robinson (2 km du puits d'injection).

Sites ICPE

D'après le PLU, le territoire de Châtenay-Malabry recense 5 sites ICPE non Seveso (Cf. tableau ci-dessous), 4 soumis à Déclaration et 1 à Autorisation. Ces installations sont situées dans un rayon de 1,5 km autour du site d'Ecole Centrale.

Régime	Raison sociale	Adresse
D	Faculté de Pharmacie	5 rue Jean-Baptiste Clément Université Paris Sud XI
A	Régie Linge Développement	21-27 rue de Saclay
D	Total station service – M BRET	80 avenue Edouard Depreux
D	SFFE	1 à 5 Allée des Mésanges
D	Ecole Centrale Arts et Manufactures	Grande Voie des Vignes

Cependant, sur la base de donnée gouvernementale Georisques, le territoire compte 1 **installation classée** pour la protection de l'environnement (**ICPE**) soumise à autorisation mais non classées SEVESO:

- Le site Kalhyge 2 (ex-RLD2, Rgie Linge Développement), situé 21 rue de Saclay, à environ 300m au Sud-Ouest du site d'étude, qui a une activité de lingerie et évacue une puissance thermique maximale de 6MW.

Les risques liés à ces établissements classés sont limités, puisqu'ils sont situés dans des zones d'activités ou industrielles, à une distance suffisante du site d'étude.

Aucun Plan de Prévention des Risques Industriels (PPRT) lié à des effets toxiques, thermiques et de surpression d'un site classé SEVESO, n'est recensé sur la commune.

Le site de l'Ecole Centrale était composé d'un établissement classé ICPE lié aux activités de chimie et de travail des métaux et comportait aussi sur son site une chaufferie. Ces activités ont été suspectées d'avoir engendré une pollution des sols. Des sondages ont été menés par l'Etat en août 2016 sur l'ensemble du site pour quantifier l'état du sol et ont révélé :

- Absence d'hydrocarbure autour des cuves d'hydrocarbures
- Des dépassements ponctuels des valeurs réglementaires en fluorures, antimoine, fraction soluble de sulfates sur lixiviats qui pourront nécessiter l'orientation d'une partie minoritaire des remblais à décaisser dans le cadre de l'aménagement.
- Des impacts ponctuels en plomb qui pourront nécessiter un recouvrement par des terres saines afin de couper tout contact avec les nouveaux usagers.
- Un caractère inerte de l'ensemble du terrain naturel.

Ces nettoyages préconisés devaient être réalisés par la Ville de Châtenay-Malabry dès l'acquisition des terrains en 2017 et la démolition des bâtiments prévus par la SEMOP. **Les points de dépassement ponctuel des valeurs réglementaires pour le fluorure, l'antimoine, le plomb seront nettoyés avant le début des travaux de forage sur les sites du puits de production et d'injection.**

Sites BASIAS

La commune de Châtenay-Malabry dénombre 47 site BASIAS dont 9 sont en activité et 17 dont l'activité n'est pas confirmée. Ces installations sont principalement des garages et des blanchisseries.

Les activités industrielles sont susceptibles de laisser des traces dans le sol, il convient de prendre des mesures préventives lors du réaménagement de ces anciennes zones industrielles.

Ce recensement est effectué pour conserver les informations utiles à la planification urbanistique et à la protection de la santé publique et de l'environnement. Leurs inscriptions dans la base de données BASIAS ne préjugent pas forcément d'une éventuelle pollution.

Dans un rayon de 500 m et 1 km autour des futurs sites de forage, il existe respectivement 12 sites (dont 1 en activité et 6 dont l'activité n'est pas confirmée) et 27 sites (dont 6 en activité et 9 dont l'activité n'est pas confirmée) d'activités de services ou industriels (Cf. Figure 152):

Les sites BASIAS les plus proches du site d'étude sont :

- Le site n°IDF9205681 à environ 170 mètres du site n°IDF9202901 à environ 240 m du chantier de production. Le premier est le garage de la butte rouge, le second ne fournit pas d'information sur son activité.
- Les sites °IDF9201557, n°IDF9201542, n°IDF9201546 sont à environ 450 m du site du puits d'injection. Le premier site ne donne pas d'information sur son activité, les deux derniers sites ont cessé leur activité.

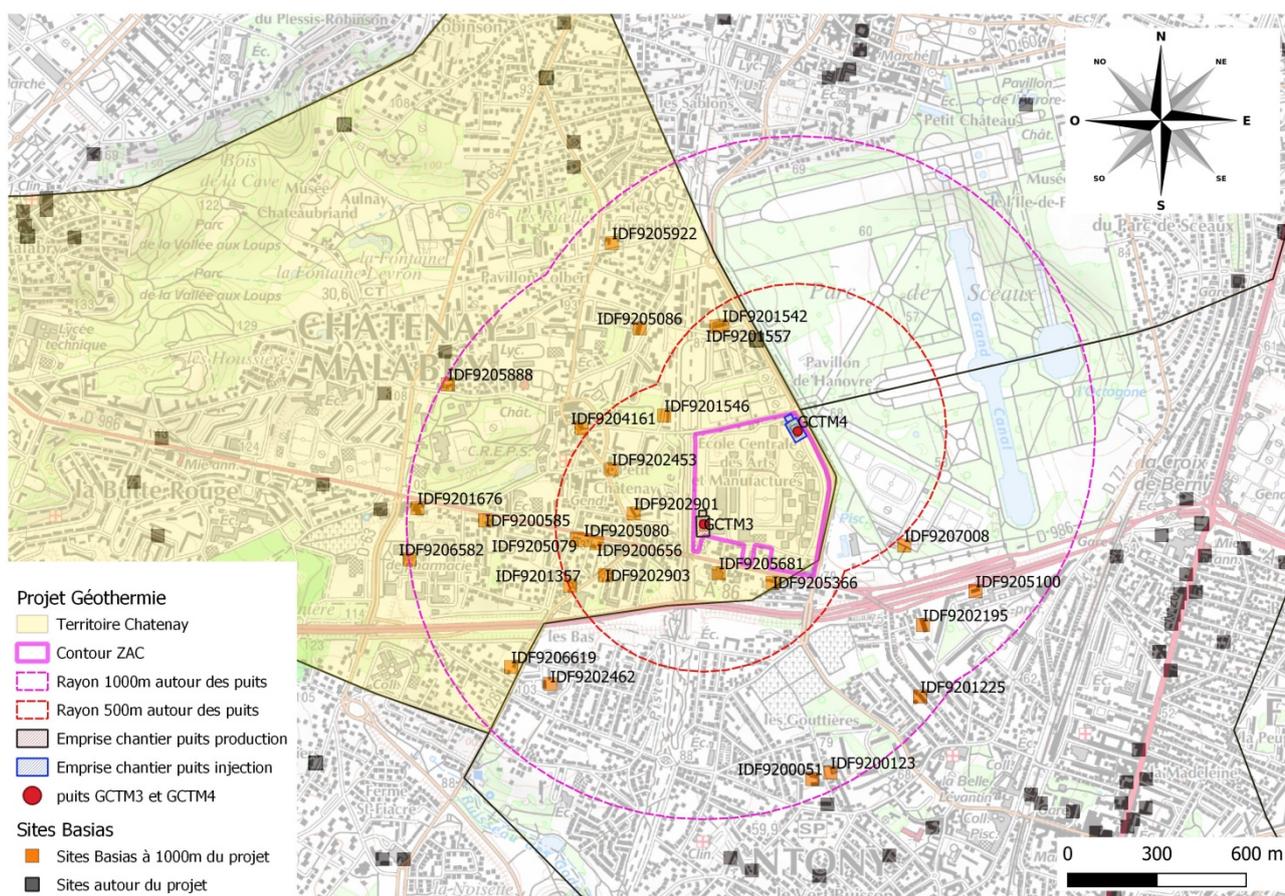


Figure 152: Sites industriels et activités de services BASIAS sur la commune (BRGM)

4.3.17.2 Risques naturels

Selon le DDRM (Dossier Départemental des Risques Majeurs), la commune est exposée à deux familles de risques naturels :

- le risque d'origine météorologique : inondations, coulées de boues par ruissellement en secteur urbain,
- le risque d'origine géologique : mouvements de terrain, tassements et effondrements des terrains par retrait et gonflement des argiles.

Les documents de référence aux risques naturels auxquels la commune est exposée sont :

- le Plan de Prévention des Risques de mouvements de terrain
- La commune a fait l'objet de 8 arrêtés de catastrophe naturelle dont 5 par inondations et coulées de boue (1997, 2000, 2008, 2016), 1 par inondations, coulées de boue et mouvement de terrain (1999) et 2 par mouvements de terrains consécutif à la sécheresse et à la réhydratation des sols (2003, 2018). Ces phénomènes étaient liés à des épisodes pluvieux brusques et importants et à la mauvaise capacité d'infiltration générale des eaux de pluie dans le sol de la commune.

Risques d'inondation

Les risques d'inondation concernent les risques :

- **Par débordement direct** : du fait du débordement de la Seine en période de crue ;
- **Par débordement indirect** : du fait de la remontée des eaux par l'intermédiaire des nappes phréatiques et/ou le refoulement d'eau dans les réseaux d'assainissement ou du fait des interventions ou circonstances pouvant modifier la circulation ou augmenter les apports d'eaux souterraines ;
- **Par inondation pluviale urbaine** : L'urbanisation réduit la capacité d'infiltration du sol, amplifie le ruissellement et accélère l'écoulement dans le réseau d'assainissement, augmentant ainsi le débit de pointe. L'ampleur des pluies pouvant varier de manière considérable, il arrive que le réseau saturé déborde.

Châtenay-Malabry n'est pas soumise au risque d'inondation par débordement de cours d'eau comme la Seine.

Le PPRi de la Seine, approuvé par arrêté préfectoral du 20 octobre 2003 définit les zones soumises au risque d'inondation et les prescriptions à respecter selon les zones. Châtenay-Malabry ne fait pas partie des communes soumises au PPRi dans les Hauts de Seine.

La commune de Châtenay-Malabry est concernée par des risques d'inondation par ruissellement urbain et coulées de boues seulement en cas d'orage violent et localisé.

En 20 ans, 8 arrêtés de catastrophes naturelles ont été prononcés, dont 6 pour inondations et coulées de boue (Cf. Tableau ci-dessous).

Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
92PREF19990029	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

Inondations et coulées de boue : 5

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
92PREF19970009	05/08/1997	06/08/1997	17/12/1997	30/12/1997
92PREF20000004	07/07/2000	07/07/2000	30/11/2000	17/12/2000
92PREF20000005	23/07/2000	23/07/2000	30/11/2000	17/12/2000
92PREF20080028	07/08/2008	07/08/2008	24/12/2008	31/12/2008
92PREF20160016	28/05/2016	05/06/2016	15/06/2016	16/06/2016

Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols : 2

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
92PREF20050036	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
92PREF20190006	01/07/2018	31/12/2018	18/06/2019	17/07/2019

Figure 153 : Arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle à Châtenay-Malabry (Source : Georisques.gouv.fr)

Pour le risque d'inondation par remontée de nappe, la commune est divisée en deux zones. Le risque est faible sur la partie ouest et fort, voire très fort sur la partie Est.

Ainsi, le site de la ZAC La Vallée, situé sur la partie Est, est concerné par le risque d'inondation par remontée de nappe qui varie de très fort à une situation de nappe sub-affleurante.

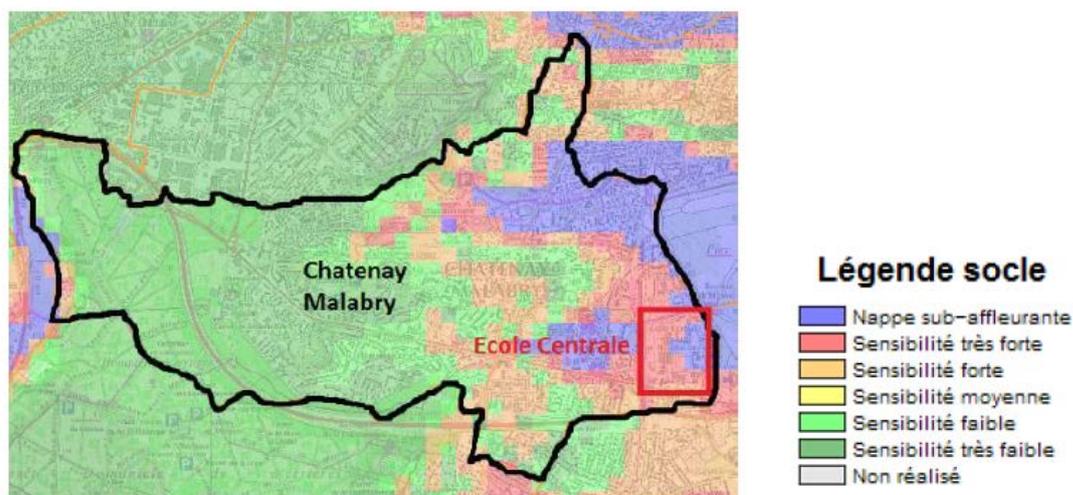


Figure 154 : Carte du risque d'inondation par remontée de nappe sur Châtenay-Malabry et la ZAC La Vallée (Ancien site de l'Ecole Centrale) (Source : DDRM Hauts-de Seine)

Les inondations par ruissellement ou stagnation se produisent le plus souvent à la suite d'orages et se caractérisent par des événements violents et localisés. Les eaux empruntent des parcours non maîtrisés et provoquent d'importants dégâts ou peuvent engendrer des contraintes de circulation (routes barrées, tunnels inondés). Les modes d'occupation des sols sont souvent déterminants dans la gravité du phénomène.

Les inondations par remontée de nappe, liées à une géologie locale spécifique, ont des conséquences multiples qui jouent sur les constructions, la maîtrise de l'espace constructible, la gestion de l'eau et de ses rejets et la sécurité des biens et des personnes.

Le risque de débordement de nappe est probablement lié à la nappe dite des Marnes de Pantin localisée à partir de 7 m de profondeur lors d'études géotechniques réalisées Avenue de la Division Leclerc.

Les autres nappes superficielles des sables de Fontainebleau et des calcaires de Brie de la commune sont peu susceptibles d'affleurer sur le site de la ZAC ; la première étant contenue entre deux formations imperméables (les Marnes à huitres et les marnes à Meulière), la deuxième étant de faible épaisseur et peu étendue.

Risque sismique

La commune de Châtenay-Malabry est en zone d'aléa très faible (zone 1) concernant le risque sismique conformément au décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010. Cette catégorie correspond au risque le plus faible (risque négligeable de séismes pouvant occasionner des dommages sévères). Ce risque n'impose donc pas de prescriptions particulières sur le site.

Risque météorologique

Deux tempêtes ont frappé la région parisienne durant ces quinze dernières années :

- La tempête de décembre 1999, où la vitesse du vent a atteint 169 km/h à la station Paris-Montsouris,
- La tempête de décembre 2006, où la vitesse du vent a atteint 122 km/h à la station Paris-Montsouris.

La commune est concernée par le risque de tempête ou vents violents.

Risques de mouvements de terrain

Les différentes roches constitutives du substrat géologique du secteur d'étude présentent des caractéristiques favorables au développement de trois types de risques de mouvements de terrain :

- les risques liés à la présence de cavités souterraines naturelles et anthropiques;
- les risques de mouvements de terrain différentiels liés au phénomène de retrait/gonflement des argiles.

Les sols argileux se rétractent en période de sécheresse, ce qui se traduit par des tassements différentiels qui peuvent occasionner des dégâts aux constructions. Ces tassements différentiels sont amplifiés en cas d'hétérogénéité du sol ou lorsque les fondations présentent des différences d'ancrage, ce qui est le cas des sous-sols construits sur des terrains en pente.

D'après les données du BRGM, le territoire de Châtenay-Malabry est soumis à des aléas retrait-gonflement des sols argileux moyens voire nul sur l'Ouest du territoire mais à des aléas forts sur l'Est du territoire. Ainsi, le site de la ZAC est soumis à un aléa fort (Cf. Carte ci-dessous).

Cet aléa est basé sur la cartographie des formations argileuse à grande échelle (marne à huitres, argiles vertes, marnes supra-gypseuses, argiles à meulière). La présence potentielle des horizons argileux du Sannoisien (Glaise à Cyrènes et Argile Verte de Romainville) sur les 9 premiers mètres du sol (Cf. Tableau 11) confirme ce risque sur le ZAC.

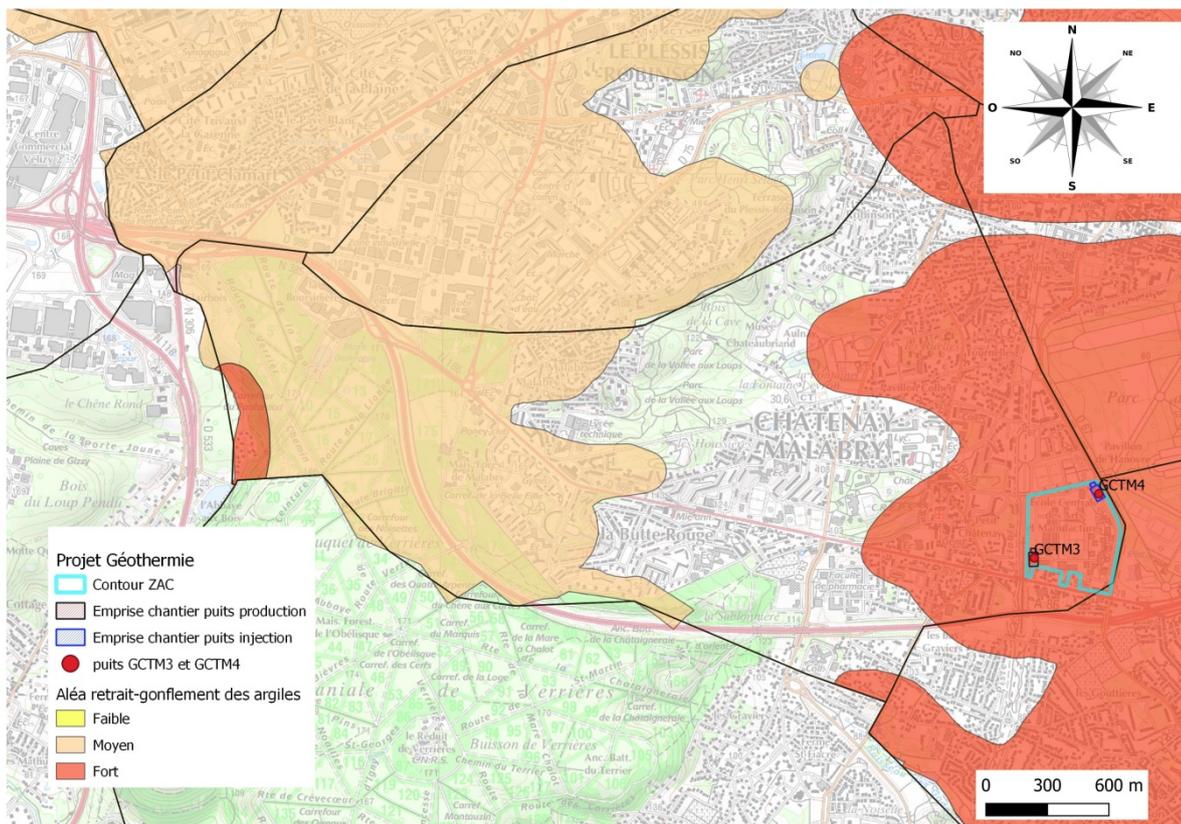


Figure 155: Carte du risque de mouvement de terrain du au retrait-gonflement des argiles (Source : Georisques)

Il est à noter que si le phénomène de retrait-gonflement n'est pas de nature à rendre une zone inconstructible, il peut impliquer néanmoins de prendre certaines dispositions constructives pour prévenir les désordres.

Le PLU indique qu'étant donné ce fort aléa de mouvement de terrain du aux terrains argileux sur le site de la ZAC la Vallée, l'infiltration à la parcelle ne sera pas possible.

Le risque de mouvement de terrain du à l'effondrement de terrain est présent du fait de la présence d'anciennes carrières de gypse au sud sur la commune d'Antony. Ainsi, un arrêté préfectoral lié aux anciennes carrières a été prescrit le 7 août 1985 et le périmètre délimité pour le plan de prévention risque Carrière est reporté dans le PLU des communes de Châtenay-Malabry et Antony (Cf. Figure ci-dessous).

Le projet n'est pas situé sur ce périmètre, il ne nécessitera donc pas l'avis de l'Inspection générale des carrières avant la réalisation des travaux.

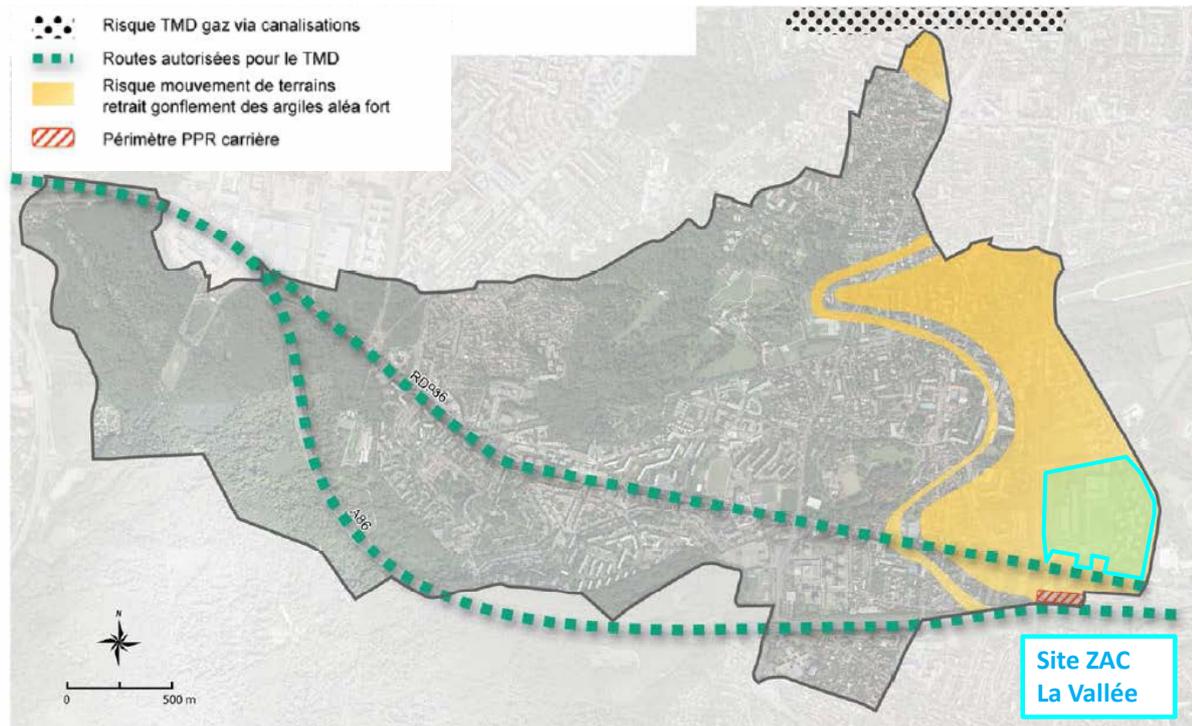


Figure 156: Risques naturels et technologiques sur la commune de Chatenay-Malabry (PLU 2017)

Les cavités souterraines, liées au phénomène de dissolution (origine naturelle) ou à l'exploitation de carrières (origine anthropique), peuvent être à l'origine d'affaissements et d'effondrements importants aux conséquences majeures sur les aménagements humains.

D'après l'étude d'impact réalisée par le cabinet Even Conseil en Avril 2018 pour la ZAC La Vallée, une ancienne carrière de gypse, située sur la commune d'Antony, borde la limite Sud-Est de la commune et se situe à moins de 150 m du site de la ZAC (Cf. figure ci-dessous).

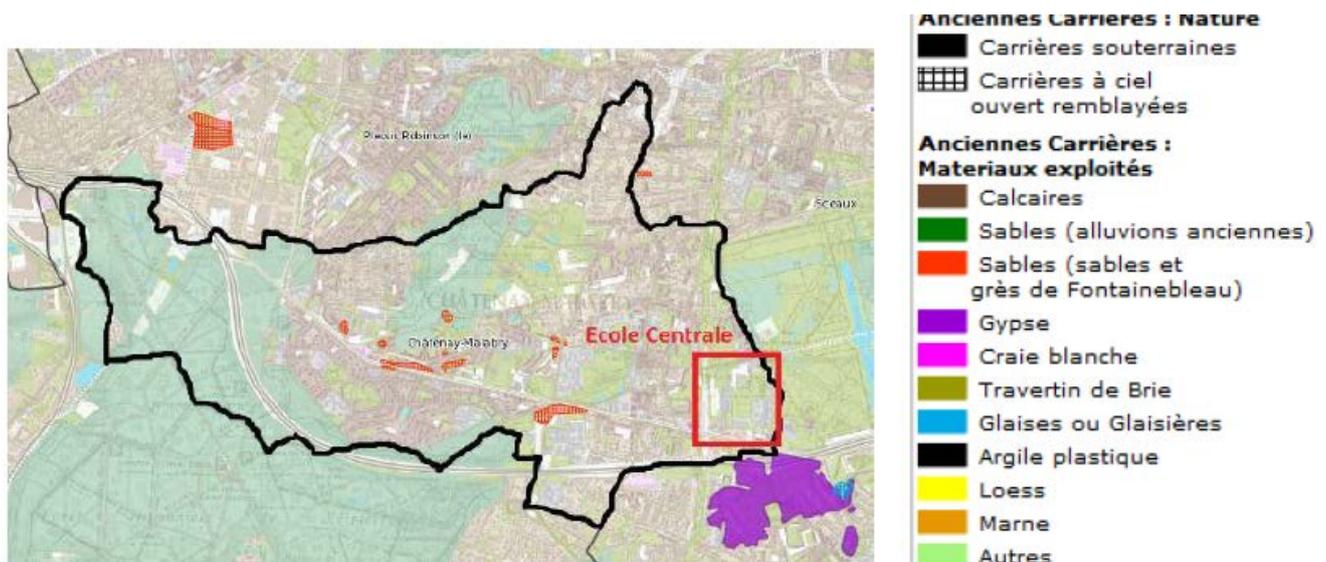


Figure 157: Carte des anciennes carrières de Chatenay-Malabry (Source: IAU et Even Conseil)

Cependant, d'après le DDRM des Hauts-de-Seine, Châtenay-Malabry n'est à priori pas exposés aux mouvements de terrain dus aux anciennes carrières (Cf. Figure ci-dessous).

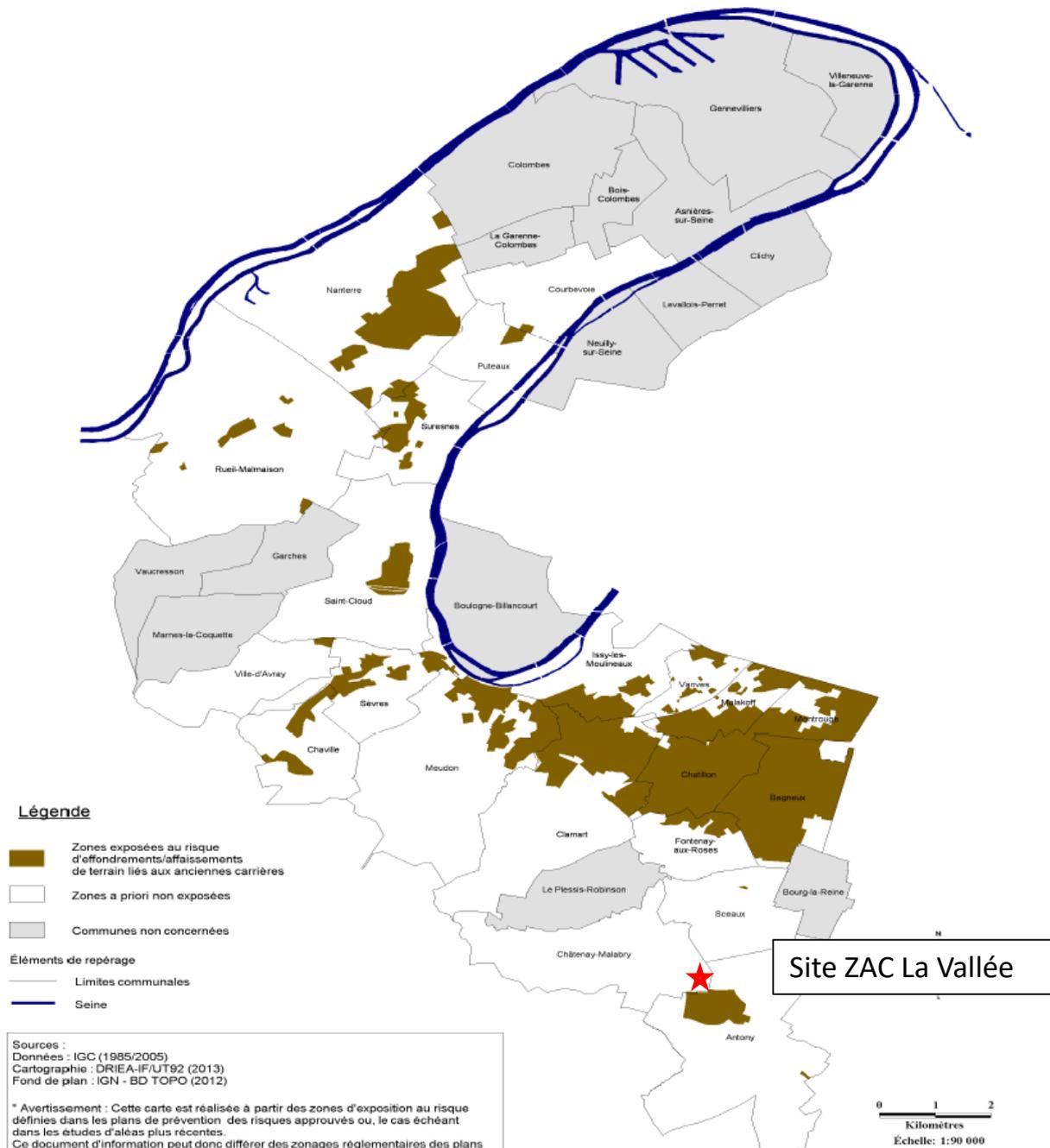


Figure 158: Cartographie des zones soumises aux effondrements/affaissements de terrain liés aux anciennes carrières (DDRM Hauts de Seine)

Pour résumé, les risques naturels identifiés sur la commune de Chatenay-Malabry sont décrits dans le tableau ci-dessous.

Risques	Types d'aléas	Etat	Commentaires	Source
Cavités	Cavité souterraines	Non concerné	Pas d'anciennes carrières répertoriées au droit du site d'étude	www.infoterre.fr et www.georisque.gouv.fr
	Cavités à ciel ouvert			
Mouvement de terrain	Tassement différentiel	Faible	Plan de Prévention des Risques Mouvements de Terrain Carrières (PPRn) Présence de dénivellation du au terrassement pour aménagement de la ZAC	www.georisque.gouv.fr
	Retrait-gonflement des argiles	Aléa fort	Pas de PPRn - Formations argileuses du Rupélien-Sannoisien (Glaises et Argiles vertes) jusqu'à 9 m de profondeur	www.infoterre.fr et www.georisque.gouv.fr
Aléa sismique	Mouvement de terrain	Très faible	Zone de sismicité 1	www.planseisme.fr et www.georisque.gouv.fr
Aléa météorologique	Tempêtes, orages	Concerné	Climat océanique - Précipitations fréquentes mais faibles. Températures douces: mini en janvier et maxi en juillet/août	www.meteofrance.fr
Inondations	Par remontée de nappe	Sensibilité forte	Nappe subaffleurante à <10 m de profondeur	BRGM, Etude d'impact Even Conseil
	Inondations par crue	Non concerné	Hors zone de submersion potentielle – Pas de PPRi	www.georisque.gouv.fr
	Inondations et coulées de boue par ruissellement dans secteur	Concerné	6 arrêtés de catastrophe naturelle	www.georisque.gouv.fr
Qualité des sols	Infiltration de substances polluantes et risque santé	Faible	47 sites BASIAS identifiés sur la commune dont 9 en activité. 1 site ICPE à autorisation, Aucun SEVESO – Pas De PPRt	BRGM, Etude d'impact Even Conseil
Ressources en eau	Préservation et qualité des ressources en eau et biodiversité	Concerné	Présence d'une zone humide, d'un ru canalisé près du site. Nappe sub-affleurante – SAGE de la Bièvre et SDAGE-SN - Pas de captages AEP sur la commune ni à proximité	BRGM, Etude d'impact Even Conseil

Tableau 36 : Risques naturels et industriels identifiés sur la commune

4.4 Analyse des effets du projet sur l'environnement

4.4.1 Effets sur le contexte socio-économique de la ville

4.4.1.1 Impact temporaire

La présence permanente d'équipes de forages, de supervision et de travaux de surface aura un effet positif sur l'hôtellerie et la restauration locale.

4.4.1.2 Impact permanent

Le projet permet d'utiliser une énergie locale, qui n'émet pas de gaz à effet de serre. Il confère à la ville de Chatenay-Malabry une image écologique justifiée.

Le projet de géothermie va permettre de contribuer à couvrir les besoins de chaleur pour le réseau à venir, à minima à hauteur de 85 %.

4.4.2 Effets sur la circulation et les infrastructures

4.4.2.1 Impact temporaire

Compte tenu des dangers que peuvent représenter la circulation et la manœuvre d'engins lourds à l'accès et aux abords du site, cet aspect est traité dans le Chapitre 6 consacrée à la sécurité du chantier.

L'accès au site de l'Aménagement se fera via l'avenue Sully Prudhomme et au niveau de la maison du projet, toujours avenue Sully Prudhomme de manière accessoire (Cf. Figure 159).

Au niveau de la zone de chantier, il faudra prévoir une aire de circulation et de stationnement pour les véhicules se rendant sur le chantier et une immobilisation ou interdiction de stationner à proximité du chantier.

Dans le cadre des mesures destinées à atténuer l'impact du projet, le maître d'œuvre veillera à organiser les travaux de façon à perturber le moins possible la circulation. Des mesures visant à réglementer la circulation aux abords du chantier seront prises afin d'assurer la sécurité des usagers et d'éviter la gêne des véhicules liés au chantier. La circulation habituelle sera donc organisée en fonction des phases du chantier, ce qui permettra de réduire les risques d'accident.

Il est à noter que le trafic engendré par l'activité sur les chantiers sera différent selon les phases de travaux (tubage, forage, cimentation, etc.). Il est possible de considérer une circulation moyenne de 4 camions par jours au cours des 60 jours de chantier de forage (Cf. Tableau 37). Les phases d'installation et de repli du chantier, de livraison des tubages, d'évacuation des déblais, de tubage des puits, de cimentation et de diagraphie des puits auront une circulation moyenne de 7 camions par jours.

Les nuisances indirectes seront liées, à plus grande distance, au trafic engendré par le chantier et le va-et-vient de camions pour l'apport de matériaux en particulier.

Pour limiter l'impact du trafic, des prestations de propreté (nettoyage des véhicules et de la voirie) ainsi que la réhabilitation des accès pourront être envisagées (Cf. Figure 160).

De plus, en période ventée, les camions de transport de matériaux seront couverts pour limiter l'envol des poussières.

Une communication destinée aux usagers des voies empruntées par les véhicules du chantier sera mise en place afin de :

- Les informer sur la durée, l'avancée des travaux et l'évolution des accès ;

- Leur signaler le chantier par des panes de signalisation de façon à ne pas générer de problèmes majeurs de circulation.

Activité sur le chantier	Nombre estimé de camions
Amenée de l'appareil de forage	60 camions
Livraison du tubage pour un puits	30 camions
En cours de forage	4 camions/jour pour le traitement des effluents soit : 100 camions par puits.
Pendant les opérations de Tubage, cimentations et diagraphies (par puits)	15 camions
Repli de l'appareil de forage	60 camions
Nombre total estimé de camions pour un doublet : 410	

Tableau 37 : Estimation du nombre de camions desservant le site selon les phases de travaux



Figure 159 : Accès au chantier de la ZAC



Figure 160 : Zone de nettoyage des véhicules d'un chantier

4.4.2.2 Impact permanent

Le site d'exploitation géothermique sera situé dans une enceinte privée et fermée. Hormis les rares périodes où des travaux importants devront être menés sur les forages, le projet n'aura pas d'impact sur la circulation. Le Tableau 38 montre les différentes opérations de maintenances prévisibles pour un doublet en fibre au Lusitanien, leurs fréquences, leurs durées ainsi que les appareils d'intervention et leur emprise au sol.

Les travaux de maintenance ou de réhabilitation ne perturberont pas le trafic sur les voies de circulation. Au niveau de la zone de forages, il faudra prévoir une aire de circulation pour les véhicules se rendant sur le site.

L'aménagement routier et l'accès actuel permettent à des véhicules du gabarit d'une grue de 20 tonnes, d'un semi-remorque et de poids lourds d'accéder au futur site de chantier de forage et aux têtes de puits en période d'exploitation.

Opération de maintenance	Fréquence indicative de l'opération	Durée de l'opération	Appareil(s) d'intervention	Ordre de grandeur de l'emprise au sol nécessaire
<i>Auscultation/ Diagnostic</i>	Environ 4 par an	1 journée	1 véhicule léger (camion laboratoire)	Environ 100 m ²
<i>Géochimie</i>	Environ 6 par an			
<i>Remontée / descente de pompe</i>	Au minimum tous les 5 ans Ou sur panne	1,5 semaine	- 1 camion de saumure - 1 grue sur camion - 1 semi-remorque - 1 plateforme métallique de travail à l'aplomb du puits	Environ 600 m ²
<i>Diagraphie (Inspection des cuvelages)</i>	Tous les 3 ans pour le puits injecteur	1 journée pour le puits injecteur	- 1 camion de saumure (pour Producteur) - 1 grue sur camion - 1 camion de diagraphie	400 m ² pour le puits injecteur
	Tous les 5 ans pour le puits producteur	1,5 semaine pour le puits producteur		600 m ² pour le puits producteur
<i>Curage, nettoyage réservoir</i>	Environ tous les 10 ans (conditionné par l'état du puits)	3-4 semaines par puits	- 1 camion de saumure - 1 grue sur camion - 1 unité de manœuvre du tube de traitement (pour le puits producteur)	Environ 1 000 m ²
<i>Rechemisage ou changement liner</i>	Environ tous les 30 ans (conditionné par l'état du puits)	1 mois	- 1 machine de work-over (appareil de réhabilitation auto-porté)	Environ 1 000 m ²

Tableau 38: Fréquence des opérations de maintenance pour un doublet au Lusitanien

4.4.3 Effets sur la sécurité des personnes

4.4.3.1 Impact temporaire

Le périmètre des travaux, les cheminements piétons, les accès pour les véhicules légers seront entièrement sécurisés. En outre, l'accès au chantier sera interdit au public.

Dans le cadre des mesures destinées à renforcer la sécurité des usagers, le chantier sera entièrement entouré d'une clôture disposant d'une signalétique appropriée pour que les piétons et les automobilistes soient correctement avertis de la présence de travaux.

Pour les salariés du site, il est à prévoir la mise en place de :

- Cheminements piétonniers, balisés, éclairés et sécurisés ;
- Accès pour les véhicules utilitaires ;
- Accès pour les véhicules de sécurité (pompiers, ambulances, police, ...) jour et nuit avec des plans d'accès, mis à jour régulièrement et envoyés aux organismes concernés ; une signalétique visible de jour et de nuit sera présente en périphérie de la zone de chantier.

Le maître d'ouvrage ou son ayant droit aura la charge d'informer et de faire respecter les consignes de sécurité et de veiller au bon déroulement des travaux effectués par les entreprises extérieures. Les entreprises qui travailleront sur site, conformément à la législation, déclareront leurs travaux et établiront un Plan Particulier de Sécurité de Prévention et de Santé (P.P.S.P.S) listant les dangers et les moyens de prévention. Un Plan de Prévention (PP) relatif à la sécurité, à la santé et à son organisation sur le site comprendra d'importants volets de prévention de risques.

La sécurité sur le chantier est développée dans le Chapitre 6 relative au document de sécurité et de santé.

4.4.3.2 Impact permanent

L'accès à la centrale de production thermique et aux têtes de puits seront interdits au public. Les têtes de puits du doublet seront situées dans une cave de protection fermée et enterrée.

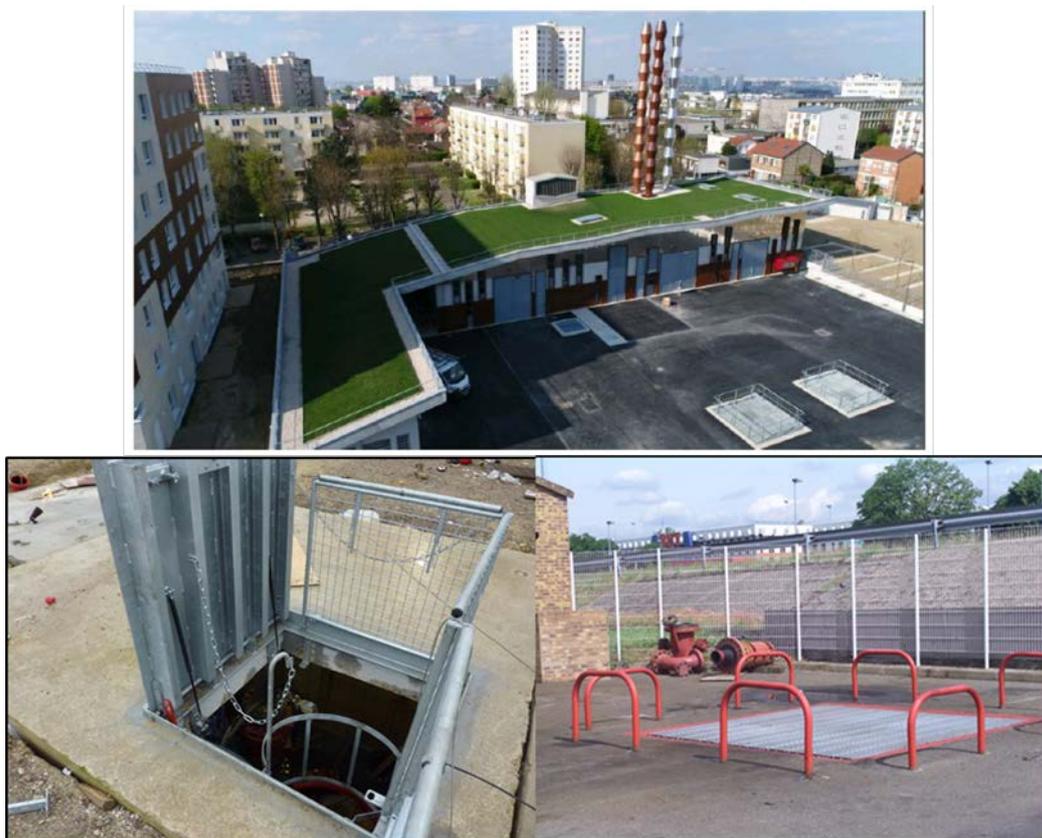


Figure 161 : Exemples de têtes de puits

4.4.4 Effets sur le paysage, la faune et la flore

4.4.4.1 Impact temporaire

Le périmètre prévisionnel (3 500 m²) de chaque chantier forage, situé sur les parcelles n°51, 124, 127 et 133, devra être aménagé pour accueillir le chantier de forage. Ainsi, les terrains devront être vierges de toute construction, arasés et le sol aménagé pour supporter le poids des engins de chantier.

D'après les récentes photos prises sur le site, le site n'est pas boisé au sens de l'inventaire Forestier National et ne comprend pas d'arbres remarquables mais certains arbres demeurent à proximité des futurs chantiers (Cf. Figures ci-après).

Compte tenu de la présence d'une espèce protégée (Conocéphale gracieux) sur le haut du talus ouest et de sa protection par l'Arrêté préfectoral DCPPAR n°2019-021, l'empreinte de chantier de forage a été réduite au maximum sur le bas de ce talus, en essayant de s'éloigner au maximum de la partie haute du talus (vert foncé). La zone sur laquelle empiète le chantier de forage est décrite dans l'arrêté préfectoral comme zone à faible intérêt écologique.

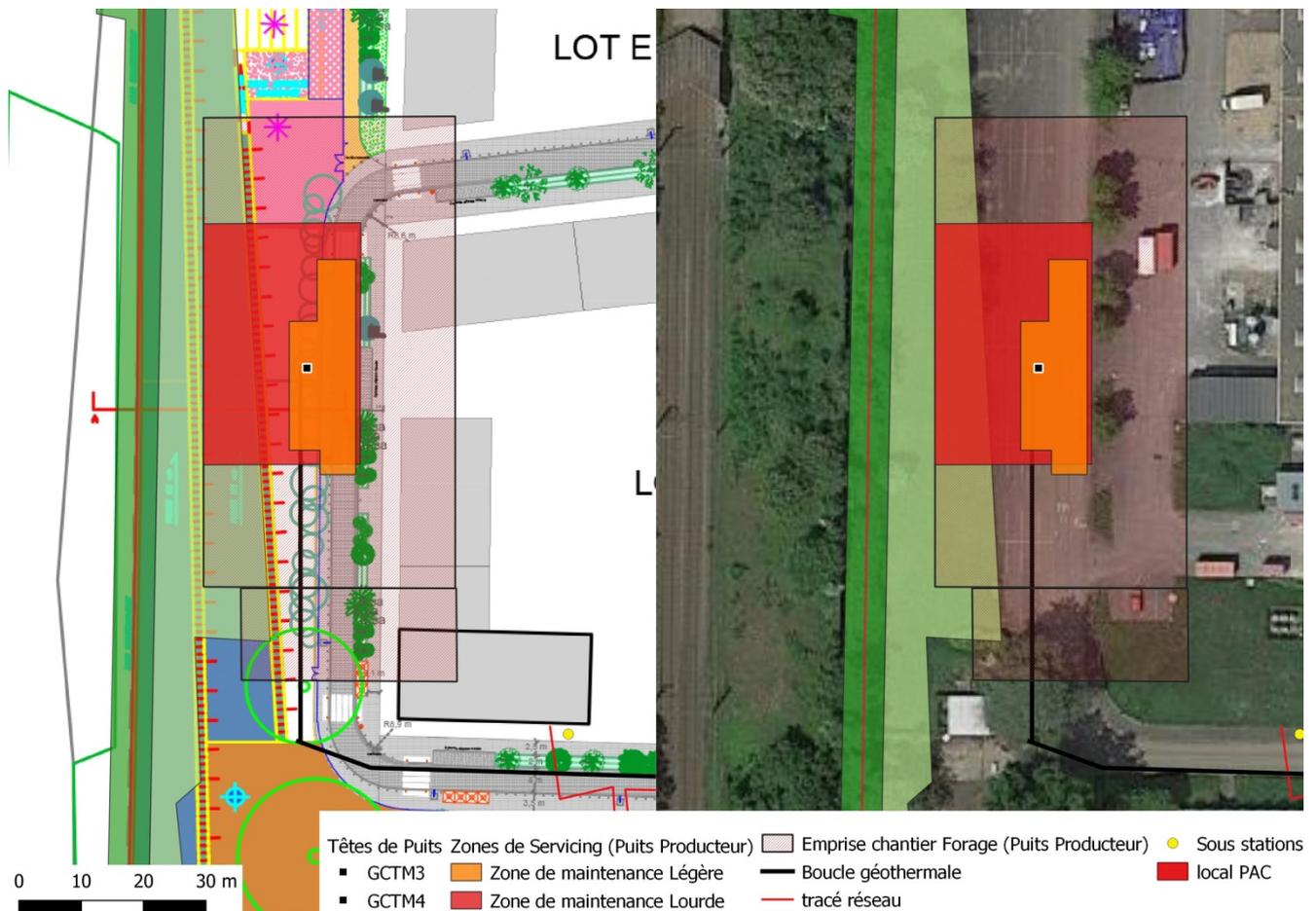


Figure 162 : Empreinte du chantier de forage et localisation de la zone de protection du Conocéphale gracieux (Vert foncé : haut du talus ouest protégé, Vert clair : bas du talus ouest, zone à faible intérêt écologique)

Le projet est situé sur une zone OAP (Opération d'Aménagement particulier) qui fixe un objectif de trame verte sur le site de la ZAC La Vallée. Les sites appartiennent à une zone identifiée comme à développer comme site de continuité écologique pour s'intégrer dans la trame verte du territoire. Ainsi, l'étude conclue que certains éléments du paysage peuvent être assimilés à des éléments support de biodiversité et constituent des habitats potentiels pour la faune et la flore (Cf. Paragraphe 4.3.12).

Ces espaces de continuité écologique est pris en compte dans les prescriptions architecturales, environnementales et urbanistes de la ZAC où s'intègre les futurs puits.

L'espace prairial sera le lien le plus fort pour restaurer une continuité depuis la coulée verte à l'ouest identifiée dans le SRCE d'Île-de-France et le parc de Sceaux, identifié comme un réservoir de biodiversité dans le SRCE d'Île-de-France. Cet espace correspondra aux espaces herbacés et arbustifs ceinturant le ru de Châtenay. Les sols existants devront être conservés, mais des semis seront nécessaires pour restaurer une diversité d'espèces végétales. Seule cette diversité installera une dynamique de compétition entre espèces, ce qui permettra à terme la colonisation par des espèces indigènes.

Les espèces végétales à planter seront celles typiques des prairies mésophiles, associées à quelques grands arbustes (espèce de haie) afin d'obtenir une prairie piquetée. La végétalisation de la prairie se fera de manière pluristratée ; un ourlet herbacé type espace prairial qui sera en lien avec la coulée verte, un ourlet arbustif et enfin une ripisylve. La ripisylve ne devra pas être continue afin de laisser des 187 percées paysagères sur le ru, elle sera donc couplée à des aménagements paysagers légers type cheminements, passerelles, etc.

Les habitats "ouvert" (minéraux, herbacés ou arbustifs ensoleillés) devront occuper la plus grande partie du lit avec ponctuellement, la présence de bouquets saules. L'acquisition d'une plus-value écologique nécessite l'utilisation d'espèces indigènes.

Une gestion écologique adaptée devra être mise en place. Cette prairie devra être fauchée, et non gyrobroyée, 2 à 3 fois par an les premières années afin d'éliminer les ligneux, puis 1 fois par an au mois de juin. La gestion annuelle de la prairie favorisera la création d'habitats favorables aux Orthoptères et Lépidoptères.

La fauche, à la différence de la tonte, n'est pas rase. Il conviendra de laisser une hauteur moyenne de 10/15 cm afin de toujours conserver un habitat refuge pour la microfaune.

On proscriera toute action de fertilisation de ces espaces herbacés en gardant présents à l'esprit qu'une prairie ou un ourlet herbacé sur un substrat « enrichi » en nutriment, s'avère très clairement « appauvrie » du point de vue de la biodiversité.

Ces fauches seront réalisées avec exportation des rémanents (dans le but de ne pas « engraisser » les sols).

En phase chantier, la zone aménagée pour installer la machine de forage sera adaptée pour respecter au mieux les groupements d'arbres recommandés pour la conservation dans le cadre de l'aménagement de la ZAC. Pour les arbres qui devraient être abattus, l'abattage sera réalisé dans les règles de l'art en matière de période d'abattage, méthodologie et les associations de protection des oiseaux seront sollicitées.

Les surfaces utilisées durant les travaux seront remises en état par une entreprise spécialisée selon les souhaits du maître d'ouvrage et les contraintes environnementales.



Figure 163 : Paysage actuel de la ZAC

4.4.4.2 Impact permanents

La surface dédiée à la future centrale de production, de dimension finale d'environ 500 m², sera intégrée au programme d'aménagement de la ZAC. Sur les parcelles dédiées au chantier de forage, certains arbres seront abattus. Au sol une végétalisation sera aménagée pour favoriser le support d'une biodiversité.

Le projet initial de la ZAC prévoit l'abattage de plus de 340 arbres qui n'a pu être évité en raison de la densité bâtie projetée et des terrassements nécessaires pour permettre le nivellement du site et la bonne réalisation du projet, 200 arbres remarquables ou présentant un intérêt (alignements de prunus à l'ouest, de châtaigniers à l'est, de platanes au nord, le secteur sud des arbres centraux, les bouleaux et pins, quelques chênes, tilleuls, saules, etc.) sont quand bien même conservés. De plus, 440 arbres, seront plantés au sein des parcs, jardins forestiers au sud et les espaces publics créés. Ces abattages et conservation d'arbres sont illustrés sur le plan ci-après. Pour les besoins des chantiers de forage, non initialement prévus dans le projet de la ZAC, quelques arbres supplémentaires seront abattus dans les règles de l'art (méthodologie, période d'abattage, passage de la LPO, etc.).

Dans le secteur du puits producteur, afin de préserver au maximum l'espace réservé à la ferme urbaine, et surtout de limiter l'impact du chantier en proximité de l'habitat du Conocéphale gracieux (Arrêté préfectoral DCPPAR n°2019-021) : il est envisagé de définir deux zones de servicing :

- Une première zone de maintenance Lourde correspondant à une surface de 1000 m² traitée en voirie lourde permettant de pouvoir une machine de workover. Etant donné que cette zone n'est prévue d'être utilisée qu'à l'abandon des ouvrages, la plateforme sera conservée mais recouverte de terre végétale afin que la ferme urbaine puisse utiliser cette surface. Au moment de l'abandon, la terre végétale et les cultures seront retirées pour laisser place à la plateforme de workover.
- Une seconde zone de maintenance légère sera aménagée et conservée afin de pouvoir réaliser le suivi réglementaire de l'ouvrage, les diagraphies réglementaires et les manœuvres de pompe d'exhaure. Cette surface de l'ordre de 300 m² utilise en partie la voirie, une convention d'accès et d'occupation temporaire de la voirie sera à prévoir entre l'exploitant et la Ville de Chatenay-Malabry.

La géothermie n'aura pas d'impact sur le paysage puisque les équipements seront enterrés. La tête de puits sera en sous-sol dans une cave bétonnée prévue à cet effet (Cf. Figure 164).

La cave sera accessible de l'extérieur lors des interventions par retrait de la dalle de couverture, elle-même équipée d'un tampon pour les visites périodiques. Elle sera ventilée par ventilation naturelle et équipée de pompes de relevage et d'échelles d'accès.

Le site d'exploitation sera clos et interdit au public. Ainsi, aucun équipement permanent ne sera visible.

Un ouvrage enterré sera créé entre les têtes de puits et la future centrale de production géothermique.

Cet ouvrage comprendra :

- canalisation calorifugée de liaison entre le puits producteur et la chaufferie centralisée ;
- canalisation de liaison entre la chaufferie centralisée et le puits injecteur;
- câbles électriques de puissance et de contrôle entre le local électrique de la centrale géothermique et les équipements des caves de puits.
- Tuyauterie d'injection en sabot de puits d'inhibiteur de corrosion le cas échéant.

D'après le PLU, le site est localisé sur un axe de trame verte qui préconise de préserver les espaces verts généreux dans les grands secteurs d'équipement pour encourager les continuités écologiques sur le territoire.



Figure 164 : Exemple d'intégration en sous-sol des têtes de puits

Le projet architectural de la centrale géothermique de Chatenay-Malabry n'est pas encore défini. Un permis de construire sera déposé avant la réalisation des forages géothermiques. Le projet de centrale géothermique s'intégrera parfaitement dans le projet de la ZAC respectera les prescriptions du PLU, ainsi que les prescriptions paysagères et architecturales spécifiques à la ZAC (annexe 7.13), en complément il respectera les prescriptions de l'arrêté préfectoral unique DCPAT n°2019-21 en date du 25 février 2019.

L'emplacement de la chaufferie centralisée sera dans le lot F comme le montre la figure suivante.



Figure 165 : Emplacement du local PAC dans la ZAC de la Vallée

4.4.5 Effets sur le sol et les eaux de surface

En se basant sur l'étude ADEME-BRGM, réalisée en 1994, traitant de la toxicité des eaux du Dogger et les conséquences d'une éventuelle pollution des eaux potables, une pollution par les eaux du Lusitanien peut être assimilée et évaluée. L'eau du Lusitanien 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.

Lors d'une pollution par l'eau du Dogger, la première manifestation est gustative avec l'augmentation de la teneur en chlorure de sodium (sel, NaCl), espèce chimique non toxique. 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. Cette caractéristique se retrouvera avec les eaux du Lusitanien.

L'utilisation de tubages en composite utilisera très peu d'additifs pour contrer l'effet des phénomènes de corrosion-dépôts le long de la chambre de pompage et des installations de surface. Les additifs de traitement de cette eau, injectés en très faible quantité, ne présentent cependant pas de danger direct pour la consommation humaine. Les fiches techniques et toxicologiques des produits inhibiteurs utilisés indiquent un danger de pollution écologique du milieu aquatique pour de fortes concentrations. Ces produits, injectés en faible quantité dans le Dogger (moyenne 2 à 5 mg/L), réagissent dans le milieu et leur action neutralise la majeure partie des effets nocifs.

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 4.4.15, 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 et le SAGE de Bièvre.

Toutefois, il est essentiel de préciser que la conception de puits géothermique empêche le contact entre le fluide et les couches géologiques traversées, jusqu'à la surface. En exploitation normale, la circulation du fluide géothermal dans la boucle constituée par le puits de production, les canalisations de surface et le puits d'injection n'a aucun impact sur les eaux de surfaces et les eaux 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 ou d'une cimentation des cuvelages non étanche. Cet aquifère pourrait devenir impropre à la consommation ou à certaines utilisations. 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 réglementaires.

Dans le cas d'intervention programmées, pour supprimer tout impact, des canalisations de collecte des effluents liquides sont prévues et décrites 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 le contrôle de l'artésianisme, celui-ci sera maîtrisé, lors des travaux, par la boue de forage, constituée d'un mélange d'eau et de bentonite (argile) ou, 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 Chapitre 6.2 pour les mesures de prévention applicables dans le cadre de l'exploitation.

4.4.5.1 Impact temporaire

La mise en place d'une semelle en béton imperméable au niveau de la plate-forme de forage, les déblaiements au niveau des bacs de collecte ou bournier, les caves des têtes 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.

Il existe un risque de pollution des eaux souterraines sur le site du fait du projet, soit par déversement de carburant ou d'huiles sur la voirie. Les impacts temporaires liés à l'utilisation et au stockage d'hydrocarbures durant les travaux sont traités dans la partie 6.1.

Les impacts liés au contrôle des eaux de ruissellement et à la protection des aquifères superficiels sont traités dans la partie 4.4.15.

4.4.5.2 Impact permanent

Outre la mise en place de caves étanches, maçonnés, de 3 mètres de côté environ, aucun impact permanent sur le sol n'est identifié. Le site sera nettoyé et les surfaces utilisées durant les travaux seront remises en état par une entreprise spécialisée selon les souhaits du maître d'ouvrage et les contraintes environnementales.

La PAC prévue dans le projet de géothermie sera intégrée au bâtiment de l'ancien gymnase de l'Ecole Centrale et ne modifiera pas le sol. Ce bâtiment sera inclus dans l'aménagement dans le plan de masse de la ZAC.

L'aléa retrait/gonflement des argiles étant élevé sur les sites, l'infiltration à la parcelle n'est pas recommandée par le PLU. Cependant, des dispositions de rétention doivent être prises pour stocker une partie des eaux pluviales et les rejeter dans le réseau d'eaux pluviales public sans excéder 2 L/s/ha (règlement d'assainissement de la ZAC et règlement du département des Hauts de Seine gérant le réseau d'eaux pluviales public). Les eaux pluviales seront dirigées vers le réseau d'eau pluvial de la ZAC (Cf. 4.4.10) en respectant cette prescription.

4.4.6 Effets sur la géologie et les aquifères profonds

Cet aspect est traité en détail dans la partie 4.4.15, car il est déterminant quant à la compatibilité du projet avec le SDAGE du bassin Seine Normandie et du SAGE de la Bièvre.

4.4.7 Effets visuels

4.4.7.1 Impact visuel temporaire

Une clôture provisoire, de couleur neutre, pourra être installée aux abords des accès au site.

Ces protections limiteront l'accès au chantier et atténueront l'impact visuel lié à la présence d'engins et des équipements de forage notamment pour les piétons circulant aux abords du chantier (Cf. Figures suivantes).



Figure 166 : Exemple d'implantation et de mât de forage

Pendant la durée des travaux, l'impact visuel sera surtout le fait du mât de forage qui aura une hauteur maximale de l'ordre de 40 mètres.

Volontairement rendu très visible par des couleurs anticollisions, le mât attirera l'œil d'un observateur sans pour autant choquer outre mesure.

Une balise lumineuse de faible puissance signalera la position du mât la nuit pour des raisons de sécurité aérienne.

Pour des raisons de sécurité, l'aire de chantier sera éclairée la nuit.

En ce qui concerne l'impact visuel (et surtout lumineux) pour les populations de chiroptères, un Plan D'Assurance Environnement (PAE) qui décrit les actions qui vont être mises en œuvre afin de répondre aux exigences de la charte chantier faibles nuisances du chantier de la ZAC et des prescriptions générales de l'arrêté préfectoral porté par la SEMOP sera mis en place. Etant donné l'impossibilité d'éviter ou compenser les nuisances lumineuses la nuit pour les chiroptères pendant les travaux, il est proposé d'étudier la possibilité de mettre en place des éclairages dont le spectre lumineux est compatible avec la vision des chiroptères.

L'ensemble des mesures compensatoires qui seront proposées dans le PAE feront partie du cahier des charges pour les entreprises de forage. Le maître d'ouvrage s'engage à faire respecter ces mesures compensatoires par l'entreprise de forage sélectionnée.

4.4.7.2 Impact visuel permanent

A l'issue des travaux, les sites retrouveront leur aspect visuel d'origine avec des installations géothermales souterraines.

4.4.8 Effets sur la qualité de l'air

Les principaux rejets atmosphériques susceptibles d'altérer la qualité de l'air sont les suivants :

- les poussières ;
- les gaz d'échappement des moteurs thermiques ;
- les gaz présents dans les fluides géothermaux.

4.4.8.1 Les poussières

Les poussières sont 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, remises en état.

Ces envols de poussières seront tributaires des conditions météorologiques : un temps calme et pluvieux sera plus favorable qu'un temps sec et venteux. L'arrosage de la plate-forme de forage pourra être réalisé lors des périodes sèches et ventées pour limiter l'émission et la dispersion des poussières.

4.4.8.2 Rejets des gaz de combustion des moteurs

Les principaux rejets concerneront les gaz de combustion des carburants (engins de chantier et groupes électrogènes alimentant l'appareil de forage). Les gaz émis seront essentiellement du gaz carbonique CO₂, du monoxyde de carbone CO, du dioxyde d'azote NO₂, de l'ozone O₃ et des poussières (suie de diesel). Les émissions et les 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 pas entraver la libre circulation de l'air au niveau des échappements et ne créera de phénomène de confinement.

Pour réduire les nuisances liées au gaz de combustion des moteurs, les engins de chantier répondront à la réglementation concernant les émissions des gaz d'échappement.

4.4.8.3 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 6.1.2, relatif à la protection contre le sulfure d'hydrogène (H₂S).

Impact permanent

Sur un plan général, l'impact de l'exploitation de puits géothermiques est particulièrement positif vis-à-vis de la qualité de l'air par la réduction des émissions de CO₂. Le concept de doublet et les règles appliquées mènent à un impact positif qui se traduit par une quantité de CO₂ évité dans l'atmosphère par rapport à un réseau classique gaz. Le projet de géothermie permet d'économiser 2028 t de CO₂éq, sur la base du référentiel Carbone ADEME (i.e. 241 gCO₂/KWh PCI pour le gaz et 180 gCO₂/KWh pour l'électricité). Le contenu CO₂ du réseau attendu est de l'ordre de 75 gCO₂/KWh livré.

La boucle géothermale fonctionne à une pression 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 les 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.

L'hydrogène sulfuré (H₂S), potentiellement 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/m³), selon l'INRS. Cette perception de l'hydrogène sulfuré à très faible concentration est souvent responsable de nuisances olfactives, mais ne représente pas de risque pour la santé en cas d'exposition accidentelle à une très faible concentration, selon l'échelle des seuils des effets toxiques donnée par l'INERIS et le Ministère du Travail.

Pour ce qui concerne le fonctionnement général de la centrale de production thermique, il n'apportera aucune modification au climat. La centrale géothermique n'induera pas de rejet dans l'atmosphère. Elle sera composée d'installations qui fonctionneront en circuit fermé. La ventilation des locaux respectera les normes en vigueur.

4.4.9 Nuisances sonores

4.4.9.1 Impact temporaire

La nuisance sonore générée par le chantier sera liée 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 des véhicules lourds constituera également une nuisance sonore ponctuelle.

Pour réduire les nuisances sonores, les engins de chantier répondront aux normes antibruit en vigueur (circulaire relative aux bruits émis par des engins de chantier du 16 mars 1978).

Population concernée

La population concernée comprend :

- le personnel travaillant sur le chantier de forage, exposé en permanence au bruit disposera de moyens de protections spécifiques : casques antibruit, bouchons d'oreilles notamment,
- les visiteurs occasionnels ainsi que les piétons
- les personnes travaillant à proximité.

Les nuisances sonores seront fortement réduites à l'intérieur des bâtiments.

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 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. Cette information est donnée soit au moyen d'une notice distribuée périodiquement, soit à l'occasion de séances d'information organisées à cette fin portant sur :

- les risques résultant, pour l'ouïe, de l'exposition au bruit ;

- les moyens pouvant être mis en œuvre pour lutter contre le bruit et contre ses effets ;
- le 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 les 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 le PLU 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). Pour les valeurs inférieures à 30 dB(A), l'émergence sonore ne sera pas recherchée.

Niveau de bruit ambiant	Emergence admissible de 7h à 22h	Emergence admissible de 22h à 7h
Supérieur ou égal à 30 dB(A)	5 dB(A)	3 dB(A)

Tableau 39 : Valeurs d'émergences maximales admissibles

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^{ème} 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 engins 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 appareil de forage

La figure suivante représente la rose des bruits générés par un appareil de forage du type de celui qui réalisera les travaux, selon trois circonférences : sur la plate-forme, à 150 mètres, à 300 mètres.

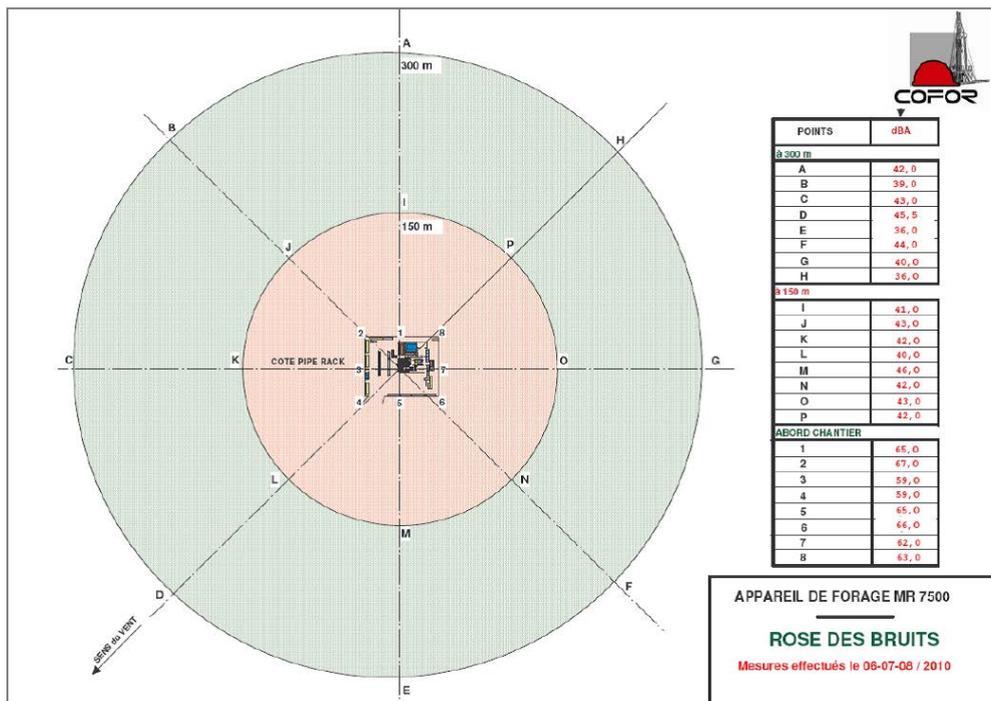


Figure 167 : Rose des bruits – Appareil de forage MR 7500 (Entrepose Drilling)

Sans toutefois préjuger des effets des sites (topographie, conditions météorologiques...), l'analyse des résultats (Cf. Tableau 40) montre que les niveaux sonores :

- aux abords des chantiers, sont compris entre 59 et 67 dB(A) ce qui correspond au bruit perçu allant d'une fenêtre sur rue à une salle de classe, selon l'échelle de la Figure 168.
- A 150 mètres de la machine de forage, sont compris entre 40 à 46 dB(A) ce qui correspond approximativement au bruit perçu depuis une fenêtre sur rue calme.
- A 300 mètres, sont compris entre 36 à 46 dB(A) ce qui correspond au bruit perçu dans une maison.

Repère Abord chantier	1	2	3	4	5	6	7	8
dB(A)	65	67	59	59	65	66	62	63
Repère 150 m	I	J	K	L	M	N	O	P

dB(A)	41	43	42	40	46	42	43	42
Repère 300 m	A	B	C	D	E	F	G	H
dB(A)	42	39	43	45,5	36	44	40	36

Tableau 40 : Valeurs moyennes de bruit mesurées en 2010 sur un chantier et dans son environnement durant une journée de 7h à 22h avec la machine MR 7500

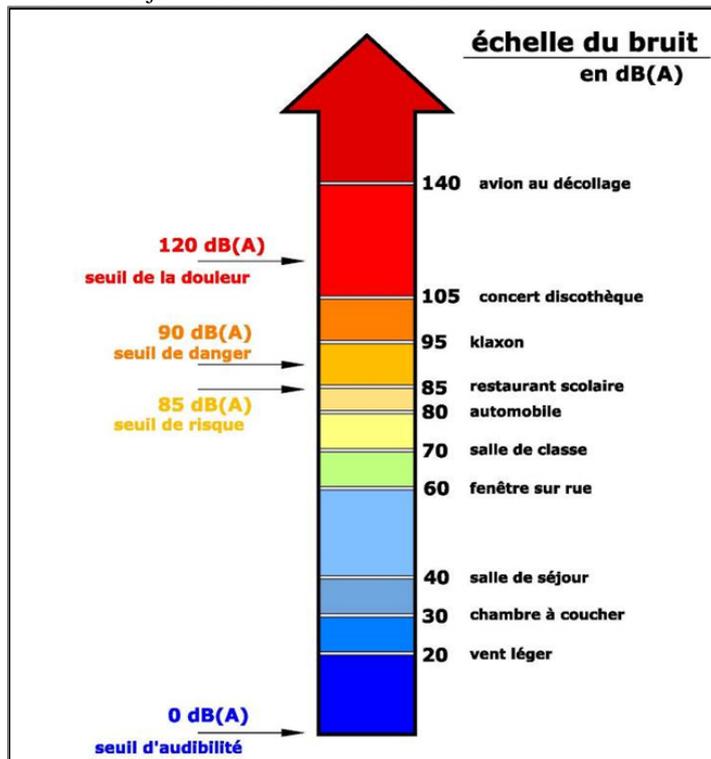


Figure 168 : Echelle du bruit en dB(A) (source ADEME)

Si on reporte sur une image du site, sans préjuger des conditions réelles de chaque site, les valeurs moyennes de bruit mesurées précédemment sur un chantier de forage et dans son environnement durant la journée de 7h à 22h, on peut identifier les constructions principales suivantes (Cf. figures suivantes) : le parc de Sceaux, les résidences de la Croix Blanche et le stade JSC Pitray, les commerces et résidences du quartier Voltaire, la coulée verte, le parc des Alisiers et le secteur Europe.

Les valeurs ci-après sont donc données à titre indicatif et dépendront fortement du choix de la machine de forage retenue par le maître d'ouvrage.

Ces cartes donnent une moyenne des bruits mesurés la journée et la nuit avec une pondération pour le niveau sonore la nuit afin d'aboutir à une meilleure représentation de la gêne perçue par les riverains tout au long de la journée. Cet indice Lden est pris comme référence pour le niveau de bruit résiduel perçu sur la zone par les habitants.

La comparaison entre le niveau de bruit résiduel hors ZAC et le niveau de bruit ambiant occasionné par l'appareil de forage (valeurs indicatives) montre des valeurs d'émergence inférieures à 5 dB sur la plateforme du puits injecteur et inférieures à 10 dB sur la plateforme du producteur au regard de l'indice Lden (Cf. Figure 171).

Cependant, le forage ayant aussi une activité de nuit, les habitats collectifs seront les plus sensibles au bruit occasionnés pendant la période 22h à 7h du matin. Une carte plus précise des niveaux de bruit résiduel dans les zones d'habitat collectif est nécessaire pour évaluer le degré d'émergence des bruits du chantier dans ces zones pendant la période nocturne 22h-7h.

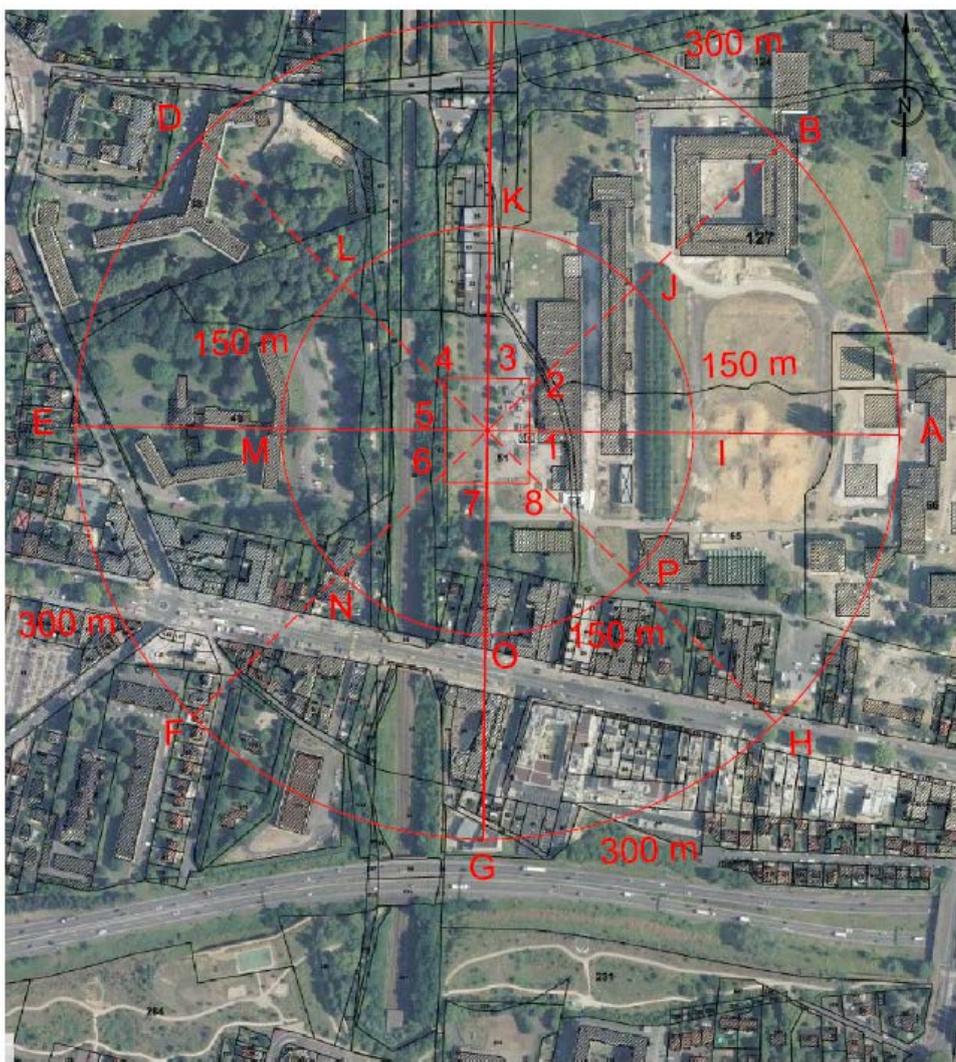
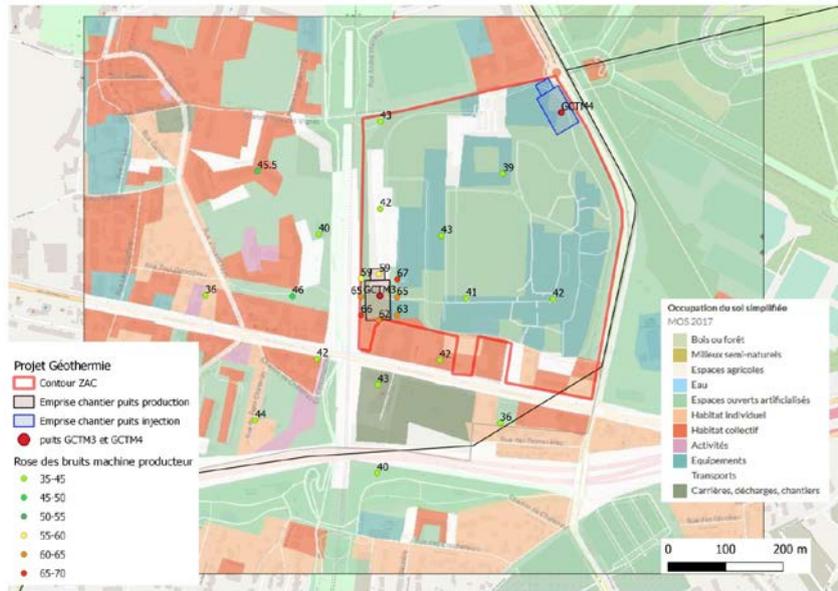
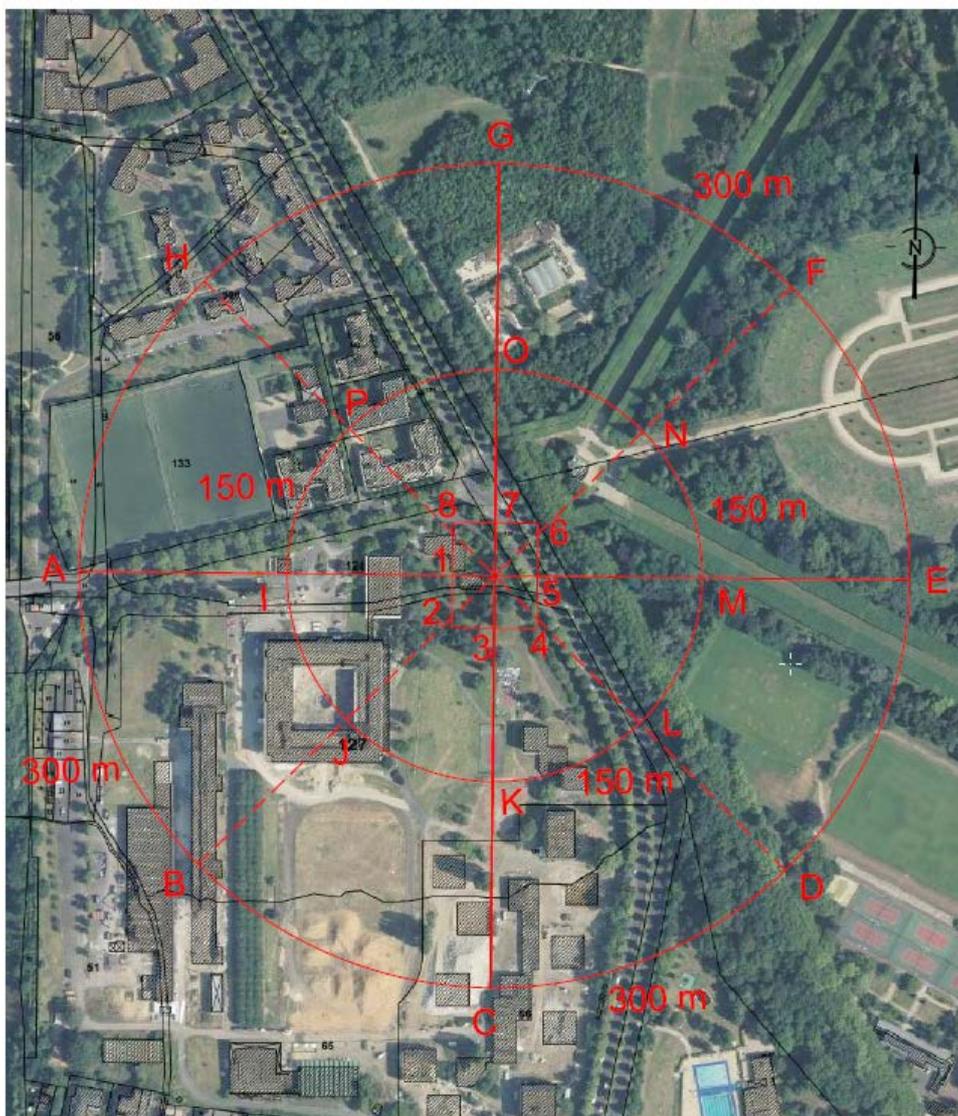


Figure 169 : Influence sonore de la machine de forage sur le site du puits de production et sur son voisinage (repères alentours chantiers, 150m et 300m, valeurs de dB)



Ech: 1/3500

Figure 170: Influence sonore de la machine de forage sur le site du puits d'injection et sur son voisinage (repères alentours chantiers, 150m et 300m, valeurs de dB)

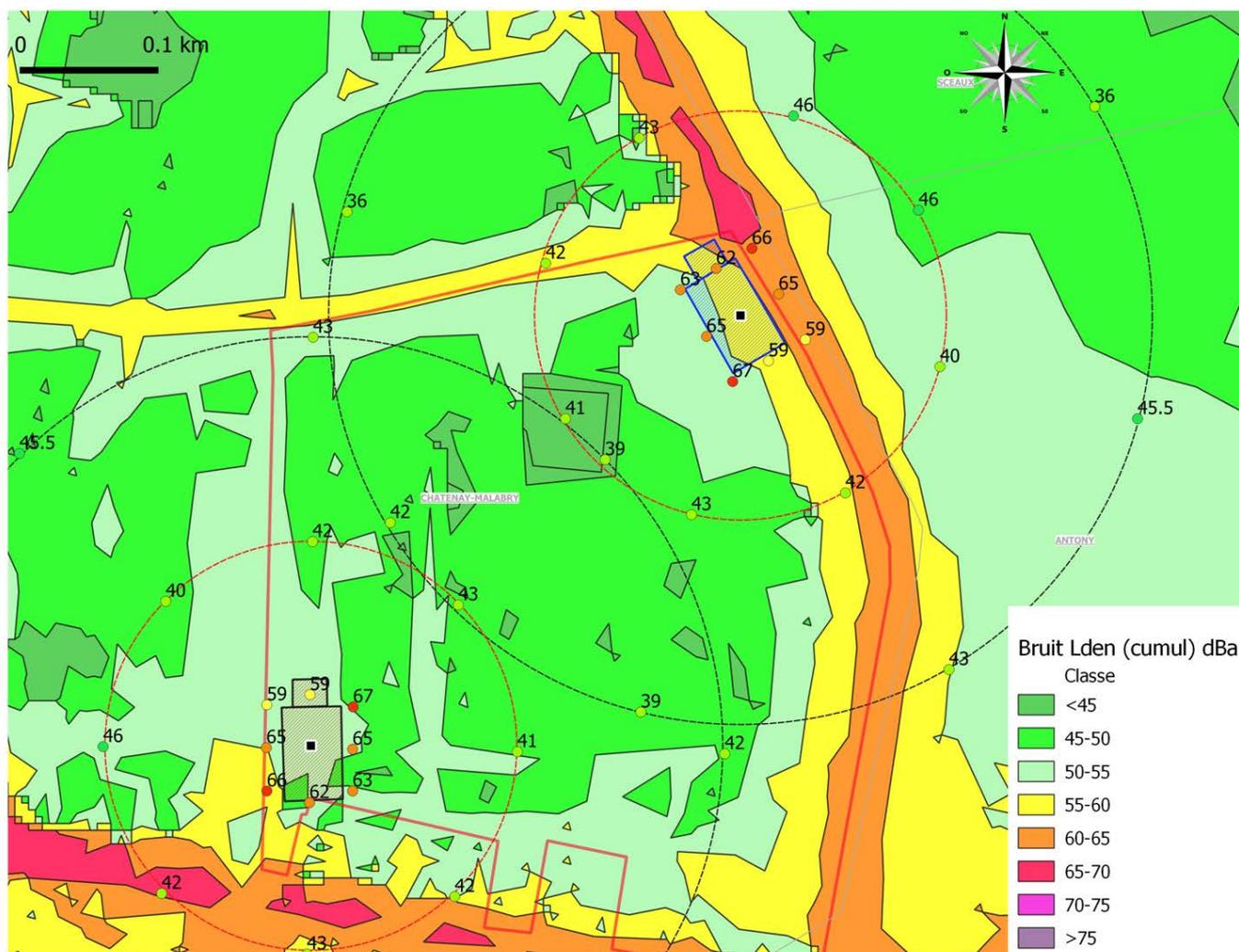


Figure 171: Rose des bruits du forage (points) avec la carte des relevés de bruit Indice Lden (PLU)

Mesures à prendre pour limiter le bruit et les émergences sonores lors du chantier de forage

Etant donnée la présence de bâtiments commerciaux et d'habitat collectif ou individuel dans la zone d'influence sonore du forage, les mesures compensatoires supplémentaires qui seront étudiées et le cas échéant mises en place avant et pendant les travaux de forage sont les suivantes :

- confinement et positionnement stratégique sur le chantier des équipements bruyants pouvant l'être (groupes électrogènes, compresseurs, etc.),
- pour limiter l'impact sonore du chantier la nuit, les activités les plus bruyantes seront réalisées uniquement le jour dans la mesure du possible (pose des casings, évacuation des déchets...),
- limitation des circulations de véhicules et définition des sens de circulation sur le chantier pour limiter l'usage des avertisseurs de recul,
- la livraison de matériels ou de produits ne sera pas effectuée de nuit. Les transports de nuit concerneront essentiellement des véhicules légers du personnel,
- La livraison de matériels ou de produits ne sera pas effectuée de nuit. Les transports de nuit concerneront essentiellement des véhicules légers du personnel,

- L'utilisation du chariot élévateur et du klaxon la nuit sera limitée au minimum nécessaire pendant la nuit,
- Enfin, des bardages/panneaux insonorisant complémentaires (métal/mousse polyuréthane/métal) sur 2-3 mètres de hauteur, pourront éventuellement être mis en place si nécessaire autour des équipements.
- La prévention auprès de la population sur le projet dans son ensemble et notamment exposer les mesures compensatoires qui sont envisagées.

Dans le cas où le chantier entrainerait des dépassements des niveaux sonores réglementaires, des mesures seront le cas échéant mises en œuvre pour limiter le bruit émergent du chantier afin d'atteindre le plus bas niveau sonore qu'il est raisonnablement possible d'atteindre.

Avant le démarrage des travaux de forage, des mesures en continu du bruit ambiant (jour et nuit) à proximité de la ZAC seront réalisées. Des mesures d'émissions sonores pendant le chantier notamment à proximité des zones à émergence réglementée (ZER) seront également réalisées.

Pendant les travaux, l'installation d'écrans sonores ou murs anti-bruits aux abords du site (murs de paille, bâche acoustique, containers empilés), des mesures en continu (jour, nuit) du bruit et des émergences sonores à différents points (site, habitations) par un organisme de contrôle agréé pourront être appliquées.

Face à la proximité des habitations, sur la base du Règlement Général des Industries Extractives (RGIE) qui fixe les émergences sonores admissibles vis-à-vis du personnel de chantier et du décret n°2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage, le maître d'ouvrage intégrera la contrainte sonore dans le cahier des charges établi pour la réalisation des travaux. Elle constituera donc un véritable critère de choix lors de la phase de consultation des entreprises de forage.

Certaines de ces mesures pourront être appliquées lors des futurs travaux de maintenance et de réhabilitation du doublet.

Il est à noter que sur les chantiers de forage récents pour lesquels CFG a assuré la maîtrise d'œuvre, une amélioration notable a été relevée par rapport aux bruits générés par l'appareil de forage utilisé. Le bruit lié à l'utilisation du frein qui agit sur le treuil a, par exemple, été nettement réduit. L'installation de mur de paille, lors de lourds travaux de réhabilitation, a pu être appréciée par la population.

L'entreprise devra fournir un Plan D'Assurance Environnement (PAE) qui décrit les actions qui vont être mises en œuvre afin de répondre aux exigences de la charte chantier faibles nuisances du chantier de la ZAC et des prescriptions générales de l'arrêté préfectoral porté par la SEMOP. Ce PAE sera visé et validé par l'AMO EVEN Conseil et le service maîtrise des risques environnementaux avant l'installation de chantier. Ce PAE décrira notamment les différentes mesures qui seront prises au titre de la réduction de bruit/ lumière et poussière tout au long de l'intervention de l'entreprise sur son chantier. Selon l'importance des mesures prises, celles-ci participeront à la réduction d'impact sur la communauté de pipistrelle située sur la haie côté ouest (ainsi qu'une réduction de nuisances pour les riverains). Les mesures à prendre pour la réduction des bruit/lumière seront intégrés au cahier des charges des entreprises de forage.

4.4.9.2 Impact permanent

Au cours de l'exploitation, au droit des puits, les bruits seront issus de la circulation des fluides dans les canalisations. Au droit du puits de production, s'ajoutera le bruit provenant de la rotation du groupe de pompage immergé. La position en sous-sol et la fermeture des caves conduira à une forte 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 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) ;

Ces équipements seront confinés dans un bâtiment. Un contrôle de l'émergence sonore sera réalisé à la mise en exploitation.

Il est à noter que l'installation fonctionnant 24 heures sur 24 et 7 jours sur 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 de production thermique 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.

4.4.10 Effets sur les réseaux existants

Le secteur de la ZAC est déjà desservi par les réseaux d'eaux usées ainsi que par un réseau séparé d'évacuation des eaux pluviales.

Ainsi, sont présents sur le site 3 canalisations principales (Cf. Figure ci-dessous) :

- le Ø300 traversant la ZAC d'Ouest en Est (1)
- le Ø1300 située sous l'avenue Sully Prudhomme (2)
- le T185/85 située sous l'Avenue de la Division Leclerc (3)

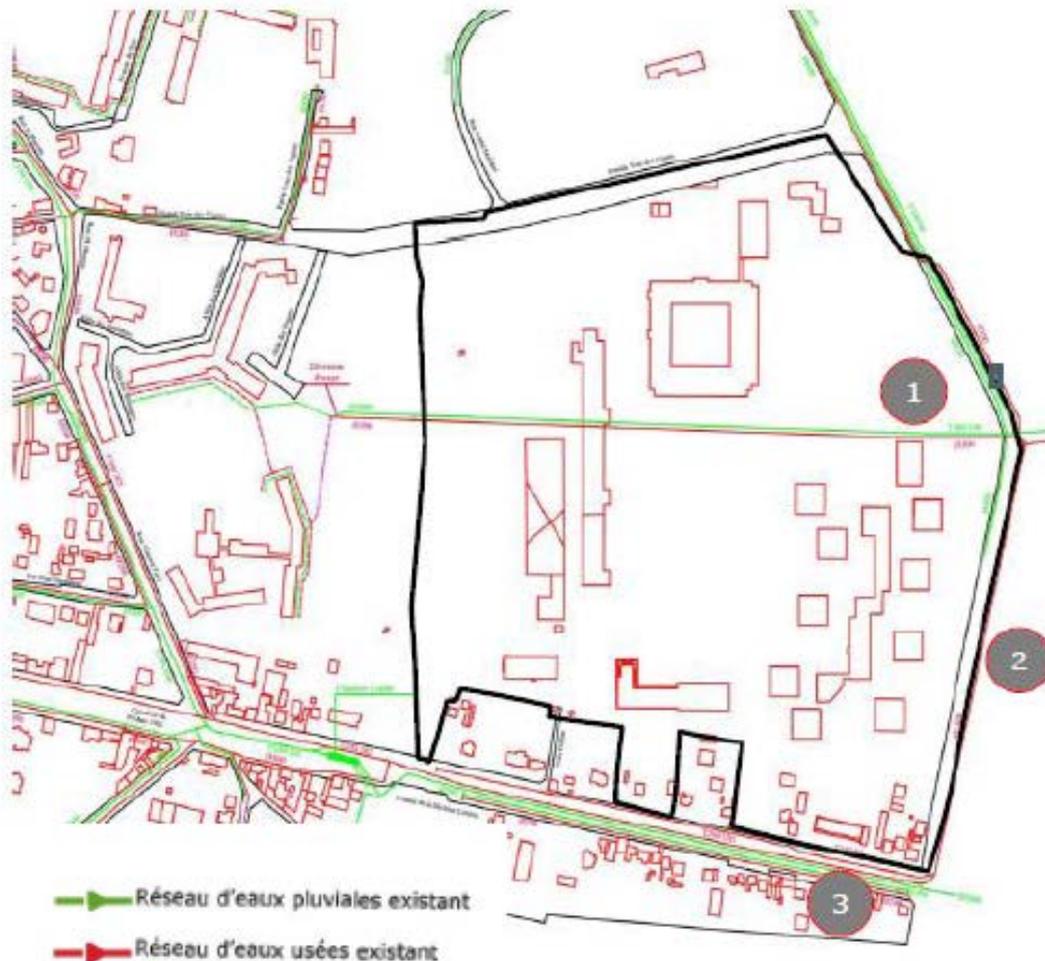


Figure 172: réseaux d'eaux usées et pluviales du site de la ZAC (Source : Dossier Loi Eau)

4.4.10.1 Impact temporaire

La phase actuelle de VRD consiste à réaliser les voiries provisoires poids lourd permettant d'accéder dans chacune des parcelles en vue de la construction des bâtiments planifiés.

Du fait de l'aménagement de la ZAC, l'intégralité des réseaux de l'aménagement a été revue, puisqu'ils ne desservent plus les anciens bâtiments, qui par ailleurs ont été détruits. La mise en place des futurs réseaux de la ZAC commence essentiellement par la mise en place des réseaux d'assainissement, du réseau de chaleur et de l'alimentation en eau potable. Les réseaux divers sont positionnés sous trottoir et seront donc construits ultérieurement.

Lors des travaux de forage, les réseaux d'alimentation en eau potable et d'assainissement seront sollicités avec l'accord des concessionnaires respectifs. Les eaux de ruissellement seront dirigées vers le réseau d'eaux pluviales de la ZAC (Cf. Figure ci-dessous).



Figure 173: Connection des sites de forages et de la PAC au réseau d'eau pluviale prévu pour la ZAC (Source : Dossier Loi Eau, avril 2018)

Les débits d'exhaure et les volumes cumulés d'eau géothermique pendant cette phase de test dépendent des caractéristiques du puits. Cependant, une séquence type est illustrée sur le graphique ci-dessous avec 5 jours de tests cumulant 5 200 m³ d'eau géothermique à évacuer. Les données présentées à la figure suivante ont été récoltées en condition réelle de réalisation d'un essai de fin de puits et sont considérées comme représentatives des essais réalisés par CFG.

4.4.10.2 Impact permanent

Le réseau de chaleur sera installé de manière permanente pour alimenter l'éco-quartier (Cf. Figure ci-dessous).



Figure 174: Plan du réseau de chaleur prévu sur la ZAC (Source : Prescriptions architecturales de la ZAC)

La zone de servicing des forages sera reliée au réseau d'eau pluvial à ciel ouvert mis en place pour l'éco-quartier (Cf. Figure ci-après).

Pendant l'exploitation, les conduites d'eau thermique relieront les têtes de puits à la centrale de production thermique.

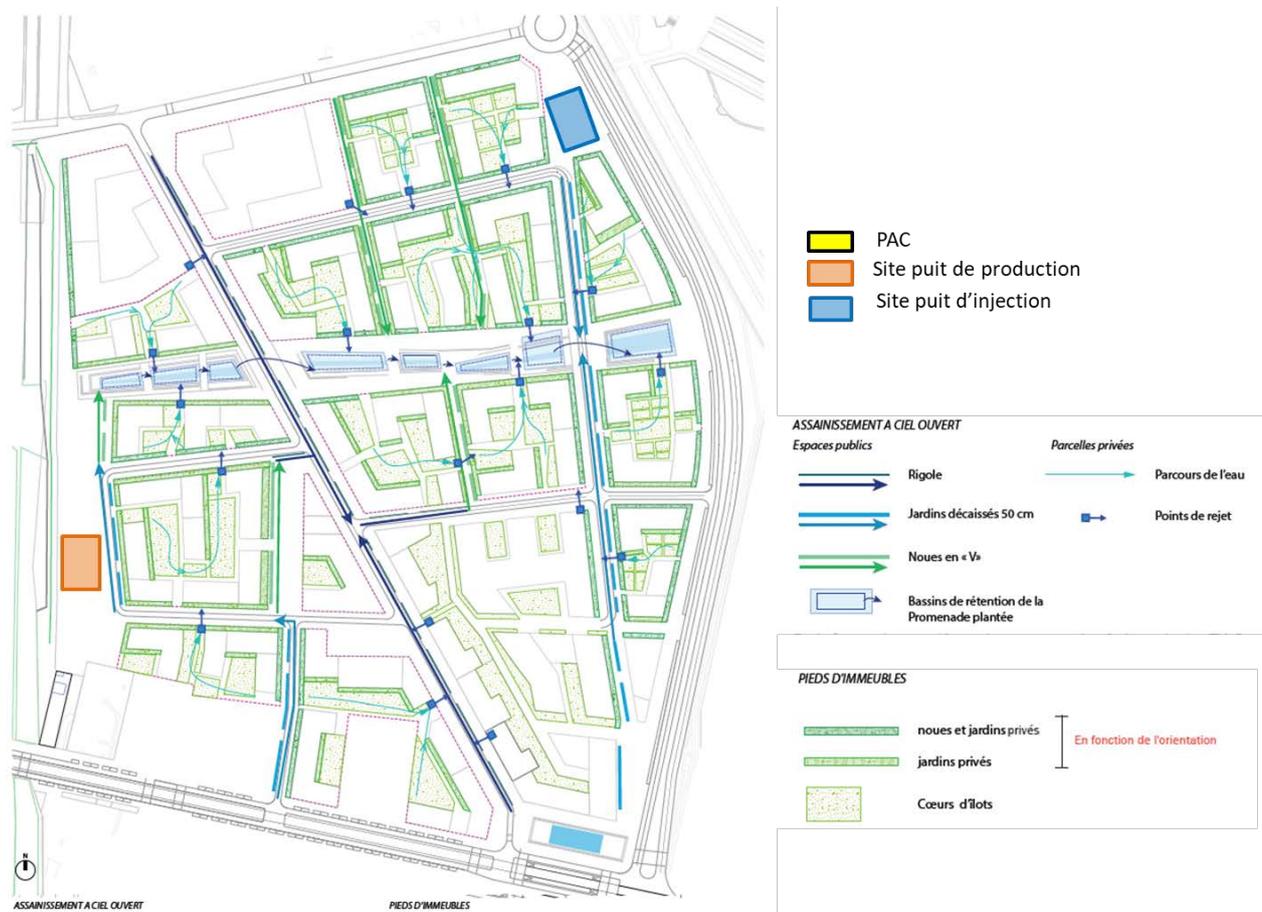


Figure 175: Réseau d'assainissement à ciel ouvert de la ZAC (Source: Dossier Loi Eau)

Pendant l'exploitation, les conduites d'eau géothermale relieront les têtes de puits à la centrale de production thermique.

En cas de déversement accidentel (fuite) de fluide géothermique, l'eau géothermique sera confinée dans la cave et pompée à l'aide d'une pompe vide cave (présente à demeure). L'évacuation pourrait se faire vers une bache ou cuve de rétention ou à défaut vers le réseau d'assainissement dans le cadre de la convention avec le concessionnaire du réseau d'assainissement (voir figure ci-dessous).

Lors des interventions d'entretien et de réhabilitation des puits (à minima tous les 10 ans), la totalité des effluents liquides sera collectée, refroidie et traitée préalablement à leur déversement dans le réseau d'assainissement si leur composition chimique l'autorise (via une convention avec le concessionnaire).

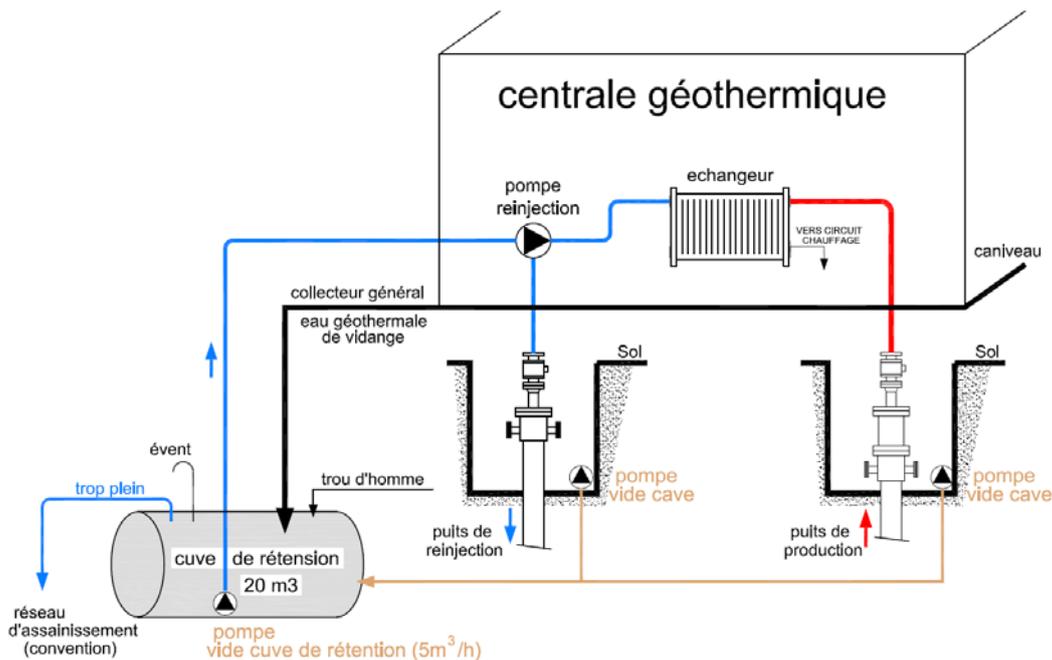


Figure 176: Synoptique de gestion des effluents d'une centrale géothermique en exploitation

4.4.11 Effets du projet et adéquation avec la protection du patrimoine

La zone du chantier et de la ZAC fait partie d'une zone de renouvellement urbain suite au départ de l'École Centrale Paris.

Le site de géothermie s'inscrit dans les périmètres de protection de deux monuments historiques : le domaine de Sceaux et l'église Saint-Germain l'Auxerrois. Ces servitudes impliquent qu'une attention particulière soit portée à la qualité architecturale et à l'insertion paysagère de nouveaux projets sur le site de la ZAC La Vallée. Les têtes de puits de géothermie seront situées dans des caves, ce qui n'impactera pas le paysage.

Une Zone de Protection du Patrimoine Architectural, Urbain et Paysager (ZPPAUP) est localisée dans la ville de Sceaux mais n'influe pas le site de la ZAC.

4.4.12 Effets des déchets et la propreté du site

Les déchets ou les 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,
- déchets ménagers et assimilés,
- déchets spéciaux (hydrocarbures...).

4.4.12.1 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 de produits chimiques stockés sur le site ou présents dans les boues et les déblais. 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.

Dans le contexte tel qu'il est prévu, le risque d'atteinte à la santé des travailleurs par les déchets des chantiers apparaît très peu probable, mais le maître d'ouvrage veillera néanmoins à la salubrité du site durant la période des travaux.



Figure 177 : Signalisation sur chantier

4.4.12.2 Boue de forage et déblais

Bien que potentiellement peu polluants, les fluides de forage (boue) qui serviront d'une part à la remontée des déblais solides et, d'autre part, au refroidissement et à la lubrification des équipements en rotation, feront l'objet de mesures de précautions particulières.

La boue de forage sera composée d'eau du réseau d'eau de ville, d'argile naturelle inerte (bentonite) et d'additifs complémentaires (viscosifiants, bactéricides...). En phase de forage, les boues circuleront dans un circuit étanche, partiellement à l'air libre au niveau des vibreurs et des bacs à boue.

Lorsqu'elles ne seront plus utilisées, les boues subiront sur site un traitement physico-chimique par centrifugation et coagulation. Les phases liquide et solide seront séparées :

- La phase solide (déblais) sera évacuée par camion et traité dans un centre de traitement agréé ;
- La phase liquide sera, soit mise en citerne puis envoyée dans un centre de traitement, soit évacuée dans le réseau d'assainissement (conformément à la réglementation en vigueur et aux termes de la convention de rejet qui en gèrera, le cas échéant, les modalités).

Il pourra être décidé de travailler sans borbier mais à l'aide de bacs étanches en aciers (bacs poubelle ou demi-lune) d'un volume compris entre 500 et 1000 m³, destiné à recueillir l'eau géothermale en cours d'essai. Il sera utilisé pendant des phases particulières de travaux pendant lesquelles, les effluents ne pourront être ni traités (par exemple pendant les essais de production longue durée).

4.4.12.3 Déblais et autres déchets industriels banals

Les déblais qui auront été contaminés accidentellement par des hydrocarbures seront évacués vers des décharges qui acceptent ce type de déchet.

Le chantier produira peu de déchets 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 récupérant les métaux.

4.4.12.4 Eaux géothermales et eaux de ruissellement

L'emprise du chantier est ceinturée par un merlon ou un fossé périphérique, de sorte que les eaux de pluie ne puissent entraîner dans le milieu naturel les éventuelles pollutions présentes sur la plate-forme. Elles seront dirigées vers les bacs de collecte ou bourniers.

Les effluents du chantier seront recueillis dans des bourniers ou bacs étanches afin de prévenir d'éventuelles infiltrations des effluents dans le sol. Les abords des bourniers seront balisés et surveillés pendant la durée du chantier afin que le public ne puisse pas s'en approcher.

Les effluents liquides contenus dans les bacs ou bourniers seront, après décantation, soit mis en citerne et évacués, conformément aux dispositions du titre IV, livre V du code de l'environnement relatif à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux, et des textes pris pour son application, soit rejetés au réseau d'assainissement avec l'accord du service gestionnaire de ce réseau, dans le respect des termes de la convention conclue avec ce dernier, en particulier sur les valeurs limites de rejet.

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-mécaniques, ...). 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.

Une demande d'autorisation de déversement provisoire dans le réseau public d'assainissement des eaux usées, autres que domestiques, de l'établissement géothermal sera faite auprès de la Direction des services de l'environnement et de l'assainissement du département des Hauts de Seine.

Les conditions 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 ;
- présenter un rapport de biodégradabilité (DCO/DBO₅) inférieur à 2,5 ;
- 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.
- Respecter le règlement des services d'assainissement de la Communauté d'Agglomération, du département et du gestionnaire du réseau d'assainissement.

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.

4.4.12.5 Déchets ménagers



Figure 178 : Stockage des déchets sur un site

Les abords du chantier et les installations de chantier seront tenus parfaitement propres (absence de papiers, de débris, 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.

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 de fois que nécessaire en cours de chantier.

4.4.12.6 Combustibles et lubrifiants



Figure 179 : Bacs de rétention et stockage d'huile sur un chantier

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 accidentellement souillés, seront récupérés et acheminés vers des sites de récupérations 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, etc.).

Pour tous les déchets toxiques ou dangereux, des certificats de destruction seront demandés aux prestataires en charge de leur élimination.

4.4.12.7 Propreté générale du chantier

Les installations de chantier et les abords du chantier et sa voirie seront tenus parfaitement propres.

Les roues des camions seront si besoin nettoyés de toute boue et de terre en sortie du chantier. Le chantier de forage respectera comme l'ensemble des travaux concernant la ZAC de la vallée, la charte de chantier faibles nuisances, un débourbeur est mis en place à l'entrée du chantier de la ZAC à ce titre.

4.4.13 Effets sur le Patrimoine naturel

4.4.13.1 Impact des travaux sur le patrimoine naturel

La réalisation des travaux de forage induira la présence d'une machine de forage constituée d'un mât. Le chantier sera éclairé pour permettre le travail nocturne ou en cas de faible luminosité. Le projet se situe en zone urbaine. L'emprise du projet nécessitera un défrichement partiel et terrassement de la parcelle afin de préparer les plateformes de forage.

Néanmoins les sites du chantier de forage n'appartiennent pas à un Espace Boisé Classé (EBC) et ne comprend pas d'arbres remarquables ni à aucun de ces espaces naturels protégés (APPB, ZNIEFF, Réserve Biologique et Naturelles, Natura 2000, ZICO, Parc naturels...).

Etant donnée la probabilité d'une présence de zone humide, une étude pédologique et végétation, réalisée par le cabinet Even en 2018, a pu déterminer la présence d'une zone humide sur le site de la ZAC. Celle-ci est décrite comme un habitat EUNIS E3.4 « Prairies eutrophes et mésotrophes humides ou mouilleuses ». **Des études plus poussées quant à la durabilité de cet habitat sont en train d'être menées par le BE Even Conseil afin de conclure sur sa dynamique d'évolution et sa fonctionnalité écologique. Ces résultats conclurons ou non sur la pertinence de la conserver ou bien d'enclencher les mesures de compensatoires prévues à cet effet.** A savoir, une zone humide de compensation de 730 m² pourrait être construite à proximité de la zone humide initiale (chevauchement partiel).

Un inventaire a été réalisé en 2016 entre avril et aout pour préciser la flore et les habitats naturels de la ZAC. Le site du forage de production est proche du talus ouest avec la présence de la zone de transit des chiroptères, de l'habitat du Conocéphale gracieux et de l'habitat boisé de la Sitelle torcheplot (oiseau). Le site du puits d'injection est principalement concerné par l'habitat boisé de la Sitelle torcheplot (espèce commune mais en déclin en petite couronne francilienne).

Compte tenu de la proximité de la ZNIEFF du parc de Sceaux et de la Coulée verte, les menaces potentielles que pourraient subir cette espèce d'oiseau, décrites dans le paragraphe 4.3.12, sont le dérangement durant les périodes de nidification. Le site n'est initialement pas une zone favorable à la nidification des oiseaux. En effet, l'environnement sonore initial du site (présence de grands axes routiers est déjà très bruyant avec des indices Lden et Lnight compris entre 55 et 70 dB(A) (Cf. paragraphe 4.3.14). Pour rappel, l'indice de nuisance sonore maximal enregistré autour des machines de forages est de l'ordre de 65 dB(A) (Cf. paragraphe 4.4.9).

En phase chantier de forage, les zones aménagées pour installer la machine de forage s'adapteront au mieux pour respecter les groupements d'arbres recommandés dans le cadre de l'aménagement de la ZAC et de ses prescriptions architecturales. Certains arbres devront être abattus en compléments de ceux qui étaient initialement prévus dans le projet de la ZAC, cet abattage devra être réalisé dans les règles de l'art en matière de période et de méthodologie.

L'entreprise devra fournir un Plan D'Assurance Environnement (PAE) qui décrit les actions qui vont être mises en œuvre afin de répondre aux exigences de la charte chantier faibles nuisances du chantier et des prescriptions générales de l'arrêté préfectoral porté par la SEMOP. Ce PAE sera visé et validé par l'AMO EVEN

Conseil et le service maîtrise des risques environnementaux avant l'installation de chantier. Ce PAE décrira notamment les différentes mesures qui seront prises au titre de la réduction de bruit/ lumière et poussière tout au long de l'intervention de l'entreprise sur son chantier. Selon l'importance des mesures prises, celles-ci participeront à la réduction d'impact sur la communauté de pipistrelle située sur la haie côté ouest (ainsi qu'une réduction de nuisances pour les riverains). Les mesures à prendre pour la réduction des bruit/lumière seront intégrés au cahier des charges des entreprises de forage, notamment en ce qui concerne l'installation de bâches ou murs acoustiques, ainsi que de projecteurs lumineux à spectre adapté aux chiroptères.

4.4.13.2 Impact de l'exploitation sur le patrimoine naturel

L'exploitation du gîte géothermique consistant à exploiter la ressource en eau profonde du Lusitanien en circuit fermé se fera sans nuisances sonore et olfactive, sans nuisance sur les eaux superficielles et souterraines. Il apparaît que l'exploitation du gîte géothermal sera sans impact sur ces espaces naturels protégés. En effet :

- Le projet se situera dans une zone urbaine à vocation commerciale et résidentielle.
- Du fait de l'éloignement de l'emprise du projet avec les espaces naturels protégés aucun impact n'est à considérer en phase exploitation.
- Les espèces avifauniques présentes ne seront pas impactées par les nuisances sonores et olfactives générées par le projet en phase exploitation du fait de la présence de nombreux axes routiers à fort trafic.
- De même, les nuisances liées au rejet à l'atmosphère ne sont pas en mesure d'entraîner une gêne des oiseaux étant donné la distance séparant ces rejets des espèces. De plus, les rejets observés pendant l'exploitation sont des rejets classiques de milieu urbain.
- Les rejets d'effluents ne sont pas susceptibles de polluer les habitats de ces espèces dans la mesure où ils seront intégralement collectés et traités ou envoyés dans le réseau d'assainissement collectif de la ville.

Au regard des caractéristiques du site du projet et de la typologie des espaces naturels décrits précédemment, il n'existe pas de relation directe ou indirecte entre eux susceptible d'influer négativement sur l'état de conservation des habitats naturels et des espèces d'intérêt communautaire de ces sites.

4.4.14 Effets du projet sur la santé humaine, l'hygiène, la sécurité et la salubrité publique

4.4.14.1 Objet du projet et population concernée

Dans l'optique d'une réalisation et de l'exploitation d'une opération de géothermie profonde et dans le respect du Code Minier, le dossier réglementaire comprenant une demande de permis de recherche d'un gîte géothermique basse température et d'une demande d'ouverture de travaux de forage sur la commune de Chatenay-Malabry est déposé par le maître d'ouvrage en préfecture et auprès des administrations concernées en vue d'une enquête publique.

Dans un rayon de 50 mètres, huit parcelles sont concernées par le futur projet. Il s'agit de :

- Les parcelles n°51, 124, 127, 133 de l'ancien site de l'Ecole Centrale accueillant le futur projet de la ZAC La Vallée
- La parcelle n° 126 correspondant à la voirie et les abords de l'avenue Sully Prudhomme.
- La parcelle n°1 boisée du parc de Sceaux.
- Les parcelles n° 23, 52 et 54 de la coulée verte et des voies SNCF.

- Les parcelles n°25, 26 et 27 des résidences privées de l'avenue de le Division Leclerc.

Selon l'article L.153-2 du Code Minier, le futur maître d'ouvrage n'est pas tenu d'obtenir le consentement des propriétaires des habitations situées dans un rayon de 50 m autour des futures têtes de puits pour pouvoir débiter les travaux de forage, toutefois il est tenu de les en informer.

4.4.14.2 Synthèse de l'analyse des impacts du projet sur la santé humaine et mesures destinées à supprimer, atténuer ou compenser les effets négatifs.

Impact du projet sur la circulation routière

Dans ce contexte de chantier, toutes les mesures sont prises pour protéger la sécurité et la santé des riverains et des visiteurs lors de la réalisation du projet. Les visiteurs ne pourront se déplacer que dans les secteurs autorisés (Cf. paragraphe 6.1.1). Les riverains seront exposés à des risques liés à une augmentation du trafic routier plus particulièrement due aux véhicules lourds accédant au chantier.

L'amenée et le repli de l'appareil de forage s'effectueront par convois exceptionnels. En dehors de ces phases, il est à noter que le trafic engendré par l'activité sur le chantier sera différent selon les phases de travaux (livraison des tubages, cimentation, évacuation des déblais, etc.). Dans le cadre des mesures destinées à atténuer l'impact du projet, le maître d'œuvre veillera à organiser les travaux de façon à perturber le moins possible la circulation. Des mesures visant à réglementer la circulation aux abords du chantier seront prises afin d'assurer la sécurité des usagers et d'éviter la gêne des véhicules liés au chantier. La circulation habituelle sera donc organisée en fonction des phases du chantier, ce qui permettra de réduire les risques d'accident.

Gestion des déchets et propreté du site

Les déchets ou les effluents produits par le chantier de forage ou pendant l'exploitation du site 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 eau de ruissellement ;
- déchets ménagers et assimilés ;
- déchets spéciaux (hydrocarbures, traitement inhibiteur de corrosion, etc.)

Dans le contexte tel qu'il est prévu (Cf. Paragraphes 4.4.3 et 6.1.2), le risque d'atteinte à la santé des riverains par les déchets des chantiers ou d'exploitation apparaît peu probable, mais le maître d'ouvrage veillera néanmoins à la salubrité du site durant la période des travaux et au cours de son exploitation.

Une politique transparente d'élimination des déchets en centres spécialisés est mise en place, en portant une attention particulière à l'élimination des boues de forages et des déchets potentiellement dangereux pour l'environnement et la santé humaine. Une stratégie de réduction des déchets à la source et de prise en compte des problèmes connexes de l'épuration est menée (bruit, abord, odeurs).

La qualité de l'air

Les principaux rejets atmosphériques susceptibles d'altérer la qualité de l'air lors des travaux sont les suivants (Cf. Paragraphe 4.4.8) :

- les poussières ;
- les gaz d'échappement des moteurs thermiques ;
- les gaz présents dans les fluides géothermaux.

Les poussières - Elles sont générées par la circulation des engins de chantier sur les voies d'accès et la plate-forme à tous les stades des travaux : génie civil, forage, remise en état. Ces envols de poussières seront tributaires des conditions météorologiques. L'arrosage de la plate-forme de forage sera réalisé lors des périodes sèches et ventées pour limiter l'émission et la dispersion des poussières.

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 gaz carbonique CO₂, du monoxyde de carbone CO, du dioxyde d'azote NO₂, de l'ozone O₃ et des poussières (suie de diesel). Les émissions et les 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 de confinement. Pour réduire les nuisances liées au gaz de combustion des moteurs, les engins de chantier répondront à la réglementation concernant les émissions des gaz d'échappement.

Les gaz géothermaux (Cf. Paragraphe 6.1.2.3) et en particulier le sulfure d'hydrogène (H₂S) sont issus du dégazage des eaux géothermales. L'hydrogène sulfuré (H₂S), 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/m³), 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. Toutefois, compte tenu de la toxicité du sulfure d'hydrogène, des mesures spécifiques seront prises par la maître d'ouvrage : installation d'appareil de détection, mise en place d'une manche à air en un lieu visible de tous les points du chantier. En cas de venue d'un bouchon gazeux, le puits sera immédiatement fermé (obturateur), et la société de forage procédera à son évacuation contrôlée à très faible débit. Une chaîne de neutralisation de l'H₂S, exigée dans le cadre de l'arrêté préfectoral relatif à l'autorisation d'ouverture des travaux, sera mise en place lors des phases à plus fort risque. 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. Les riverains seront informés, au début et au cours des travaux, des risques liés au sulfure d'hydrogène et à la conduite à tenir en cas d'éruption de sulfure d'hydrogène.

Dans le cadre de l'exploitation et sur un plan général, l'impact de l'exploitation d'un projet de géothermie est particulièrement positif vis-à-vis de la qualité de l'air par la réduction des émissions de CO₂. (Cf. Paragraphe 2.2).

La boucle géothermale fonctionne à une pression 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 les 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 les riverains et le personnel proche des émanations seront décrites dans le PPSPS concerné.

La qualité du sol

Le site de l'Ecole Centrale était composé d'un établissement classé ICPE lié aux activités de chimie et de travail des métaux et comportait aussi sur son site une chaufferie. Ces activités ont été suspectées d'avoir engendré une pollution des sols. Des sondages ont été menés sur l'ensemble du site pour quantifier l'état du sol et ont révélé des dépassements ponctuels de certaines valeurs réglementaires (Cf. paragraphe 4.3.17).

Des nettoyages préconisés ont été réalisés par la SEMOP ou seront traités avant le démarrage du chantier.

Les nuisances sonores

La nuisance sonore générée par le chantier est principalement liée à l'utilisation de moteurs et de compresseurs qui fonctionnent en continu (Cf. Paragraphes 4.4.9 et 6.1.1.4). La mise en œuvre de tiges et de tubes dans une structure elle-même métallique (mât) engendre 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 les engins de chantier répondront aux normes antibruit en vigueur (circulaire relative aux bruits émis par des engins de chantier du 16 mars 1978). Concernant les bruits de manutention, des recommandations seront données au personnel afin d'éviter au maximum le choc entre des pièces métalliques. Pour limiter l'impact sonore du chantier la nuit, les activités les plus bruyantes seront réalisées uniquement le jour dans la mesure du possible.

Au cours de l'exploitation (Cf. Paragraphe 4.4.9), au droit des puits, les bruits seront issus de la circulation des fluides dans les canalisations. Au droit du puits de production, s'ajoutera le bruit provenant de la rotation du groupe de pompage immergé. La position en sous-sol et la fermeture des caves conduiront à une forte 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).

Ces équipements seront confinés dans un bâtiment. Il est à noter que l'installation fonctionnant 24 heures sur 24 et 7 jours sur 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 de production thermique 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.

4.4.15 Effets des travaux et de l'exploitation sur les ressources en eau

Le SDAGE, qui couvre un bassin versant global, définit des sous-bassins versants correspondants à des unités hydrographiques dans lesquelles le SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux), prévu au code de l'environnement (article L.210-1 et suivants), peut être élaboré.

La délimitation des masses d'eau souterraine en France a été élaborée par le BRGM et les Agences de l'eau pour les besoins de la Directive Cadre sur l'Eau.

Une masse d'eau souterraine est défini ainsi commue un « volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères.

La commune de Chatenay-Malabry fait partie du bassin hydrographique Seine-Normandie (Cf. Paragraphe 1.6.6).

4.4.15.1 Compatibilité avec le SDAGE du bassin Seine Normandie

Adopté par le comité de bassin le 5 novembre 2015, le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE 2016-2021) 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).

Les orientations fondamentales du SDAGE pour une gestion équilibrée de la ressource en eau répondent aux principaux enjeux identifiés à l'issue de l'état des lieux sur le bassin :

- diminuer les pollutions ponctuelles des milieux par les polluants classiques,
- diminuer les pollutions diffuses des milieux aquatiques,
- réduire les pollutions des milieux aquatiques par les substances dangereuses,
- réduire les pollutions microbiologiques des milieux,
- protéger les captages d'eau pour l'alimentation en eau potable actuelle et future,
- protéger et restaurer les milieux aquatiques humides,
- gérer la rareté de la ressource en eau,
- limiter et prévenir le risque d'inondation.

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 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 leurs 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.

Protection des nappes stratégiques réservée pour l'alimentation en eau potable

Dans ce cadre réglementaire, la disposition n°28 du SDAGE Seine Normandie «Protéger les nappes stratégiques à réserver pour l'alimentation en eau potable future » définit l'aquifère de l'Albien Néocomien captif comme une zone protégée destinée à l'alimentation en eau potable pour le futur.

La disposition n° 114 définit les modalités de gestion de la masse d'eau souterraine FTHG218 Albien Néocomien captif. La nappe de l'Albien et la nappe sous-jacente du Néocomien doivent être exploitées de manière à assurer impérativement leur fonction de secours en AEP (alimentation en eau potable).

Un certain nombre de prescriptions applicables aux prélèvements dans cette nappe sont définies, qui ne concerneront le projet de Chatenay-Malabry que dans le cas d'un échec au Lusitanien impliquant un repli au Néocomien. Dans le cas d'un succès au Lusitanien, les travaux de forage traverseront ces aquifères induisant aussi un risque d'atteinte à leur qualité.

L'architecture des forages doit tenir compte de l'obligation de protection des aquifères de l'Albien et du Néocomien traversés pour atteindre la cible du Lusitanien. Ces aquifères « stratégiques », compte tenu de l'exceptionnelle qualité de l'eau qu'ils contiennent, doivent être isolés par deux tubages concentriques avec cimentation de chaque annulaire.

Le forage de production prévu comme premier puits foré présentera un seul tubage en face des aquifères de l'Albien/Néocomien pour permettre un repli sur l'aquifère du Néocomien en cas d'échec du forage au Lusitanien. Cette architecture plus légère est compensée par un tubage en matériau composite plus résistant à la corrosion que l'acier, réduisant le risque de percement des tubages. De plus, un choix d'architecture de puits vertical pour le puits producteur et de plus faibles diamètres de forage permet d'en assurer une meilleure cimentation et donc une meilleure isolation des aquifères traversés.

En cas de repli au Néocomien pour le puits producteur, un bouchon de ciment sera installé pour isoler l'aquifère du Lusitanien de l'Albien-Néocomien.

Le puits d'injection présentera un double tubage en face des aquifères de l'Albien et du Néocomien, avec un tubage 9''^{5/8} en acier et un tubage 7'' en composite. L'architecture de ce puits diffère du puits de production car il ne nécessite pas de solution de repli.

Les nouveaux ouvrages seront réalisés dans les règles de l'art, notamment en suivant le guide BRGM des « bonnes pratiques » d'exécution des forages géothermiques profonds en région Île-de-France.

Le programme de forage, et plus particulièrement le programme de boue (Cf. Paragraphe 3.1.4) sera adapté (la densité de la boue est contrôlée en permanence en cours de forage) pour éviter tout risque de perte du fluide de forage au cours de la traversée de l'aquifère de l'Albien et du Néocomien. Cette remarque vaut également pour la traversée des autres aquifères superficiels rencontrés au cours du forage.

D'autre part, en cours d'exploitation, les dispositions techniques de conception et le suivi des puits permettent de supprimer le risque de pollution de l'aquifère : mise en place d'un cuvelage composite en diamètres 13''^{3/8} - 7''^{5/8} ou en 7'', au droit de l'aquifère de l'Albien et Néocomien, et à minima des diagraphies réglementaires de contrôle de l'état des tubages tous les 3 ans pour le puits injecteur et tous les 5 ans pour le puits producteur.

Maitriser les impacts des forages sur les milieux

La disposition n° 136 du SDAGE « Maitriser les impacts des sondages et des forages sur les milieux » prévoit la maîtrise des impacts des sondages, des forages et des ouvrages géothermiques sur les milieux. Afin de préserver la ressource en eau, tout ouvrage dans le sous-sol, quelle que soit sa profondeur et son usage, doit être réalisé dans les règles de l'Art et satisfaire aux contraintes réglementaires existantes. L'objectif est de garantir la non introduction de polluants, de conserver l'isolation des nappes entre elles et de les préserver des inondations par des eaux de surface.

Pour respecter ces objectifs, en particulier pour la géothermie, il est demandé :

- que le maître d'ouvrage évalue les impacts qualitatifs ou quantitatifs, des forages, d'ordre physique, chimique et thermique, sur le sous-sol, 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 sur nappe.

L'étude hydrogéologique réalisée dans le cadre du projet de Chatenay-Malabry répond à la première recommandation relative au maître d'ouvrage. Le principe du fonctionnement en doublet (puits producteur, puits injecteur) répond à la troisième.

Incidence des travaux sur les eaux de surface

Les objectifs fixés dans les SDAGE, SAGE pour ce type de projet sont :

- réduire les rejets dans le réseau d'assainissement ;
- éviter la pollution par ruissellement ou érosion incontrôlée (notamment en période de précipitation) ;
- réduire l'impact des rejets et des nuisances (polluants, odeur, turbidité...).

Le cadre général est fourni par la double exigence de mise en œuvre des meilleures technologies disponibles, à un coût économique acceptable, et la prise en compte du milieu récepteur. Il incite à développer des mesures préventives visant à éviter les pollutions potentielles et à limiter les pollutions accidentelles.

Une politique transparente d'élimination des déchets en centres spécialisés est mise en place, en portant une attention particulière à l'élimination des boues de forages et des déchets potentiellement dangereux pour l'environnement. Une stratégie de réduction des déchets à la source et de prise en compte des problèmes connexes de l'épuration est 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 des teneurs maximales en éléments chimiques de tout fluide rejeté au réseau, conformément aux prescriptions du SDAGE et SAGE, est l'une des conditions d'obtention d'une autorisation de déversement dans le réseau d'assainissement.

La compatibilité du projet d'aménagement de Chatenay-Malabry avec les grandes orientations du SDAGE et SAGE du secteur est exposée dans le tableau ci-dessous.

Enjeux identifiés dans le SDAGE	Compatibilité du projet avec les enjeux
Diminuer les pollutions ponctuelles des milieux par les polluants classiques	Aucun rejet direct dans les milieux aquatiques ne sera effectué. Les eaux usées et pluviales seront collectées et raccordées aux dispositifs d'assainissement répondant à une convention de rejet. Le projet ne se situe pas sur et à proximité immédiate d'un espace naturel sensible ou protégé.
Diminuer les pollutions diffuses des milieux aquatiques	
Réduire les pollutions des milieux aquatiques par les substances dangereuses	Aucun rejet de substances dangereuses ne sera engendré par le projet.
Réduire les pollutions microbiologiques des milieux	Les eaux usées seront toutes collectées et traitées.
Protéger les captages d'eau pour l'alimentation en eau potable et future	Aucun captage d'eau potable ni périmètre de protection ne se situe à proximité du site. Aucun rejet imputable aux activités du site ne sera observé à proximité d'un captage AEP.
Protéger et restaurer les milieux aquatiques humides	Aucun rejet direct dans les milieux aquatiques ne sera autorisé
Gérer la rareté de la ressource en eau	L'eau du Lusitanien sera exploitée en système de boucle fermée. En surface des systèmes de robinetterie réduiront les surplus de consommation d'eau.
Limiter et prévenir le risque d'inondation	Le secteur d'étude n'est pas concerné par le risque inondation.
Enjeux identifiés dans le SAGE	Compatibilité du projet avec les enjeux
Préserver et restaurer les milieux aquatiques	Le projet vise le Lusitanien et sa conception visera à protéger les nappes sus-jacentes pendant le forage et pendant l'exploitation (conception technique, programme forage et cimentation...).
	Aucun rejet direct dans les milieux aquatiques ne sera effectué. Les eaux usées et pluviales seront collectées et raccordées aux dispositifs d'assainissement répondant à une convention de rejet. Le projet ne se situe pas sur et à proximité immédiate d'un espace naturel sensible ou protégé.
Prévenir et gérer les risques liés à l'eau	Mise en place de systèmes de traitements des fluides de forages et de gestion des eaux de ruissellements (Cf. 4.4.5) et autorisation à déverser les effluents obligatoire avant le début des travaux.
Améliorer le cadre de vie	Le projet ne nécessite pas la mise à disposition pour le chantier de terrains à caractère naturels.
	Contribution à une démarche énergétique vertueuse et responsable vis-à-vis de l'environnement, en augmentant le taux d'ENR dans le mix énergétique du futur réseau de chaleur
Valoriser la mémoire de l'eau	Le projet n'est pas concerné par un risque lié à l'eau. L'eau du Lusitanien sera exploitée en système de boucle fermée. Le projet visera à gérer au mieux ses besoins et les ressources en eau.

Tableau 41 : Compatibilité du projet avec le SDAGE et le SAGE



Il est à noter que le site de la ZAC est soumis à un aléa fort de lié aux risques de retrait et gonflement des argiles compte tenu de la présence de marnes argileuses et d'argiles à l'affleurement. Ce risque ne permet pas d'envisager une infiltration dans ces couches. Néanmoins la percolation, c'est-à-dire le stockage puis l'évaporation de l'eau par la couche supérieure de terre végétale plantée, pourra être envisagée pour la gestion de petites pluies conformément au SAGE.

Mesures prises dans la ZAC pour éviter ou atténuer les effets négatifs:

- Assurer dans la mesure du possible le stockage temporaire des eaux pluviales avant restitution au réseau (ex : chaussées réservoirs, bassins de rétention, toitures stockantes, chaussées drainantes). Ce stockage sera réalisé au niveau du ru, avec un débit régulé des eaux vers le canal du Parc de Sceaux.
- Créer des espaces de rétention des eaux pluviales paysagés en lien avec une promenade centrale dotée de bassins de stockage aériens.
- Etant donné la difficulté d'absorption des sols, ces dispositifs pourront être raccordés au ru, exutoire qui permettra l'évacuation de l'eau à débit régulé

Limiter l'imperméabilisation des espaces publics, avec le maintien d'une surface importante d'espaces en pleine terre et le choix de matériaux adaptés poreux (revêtement perméable...).



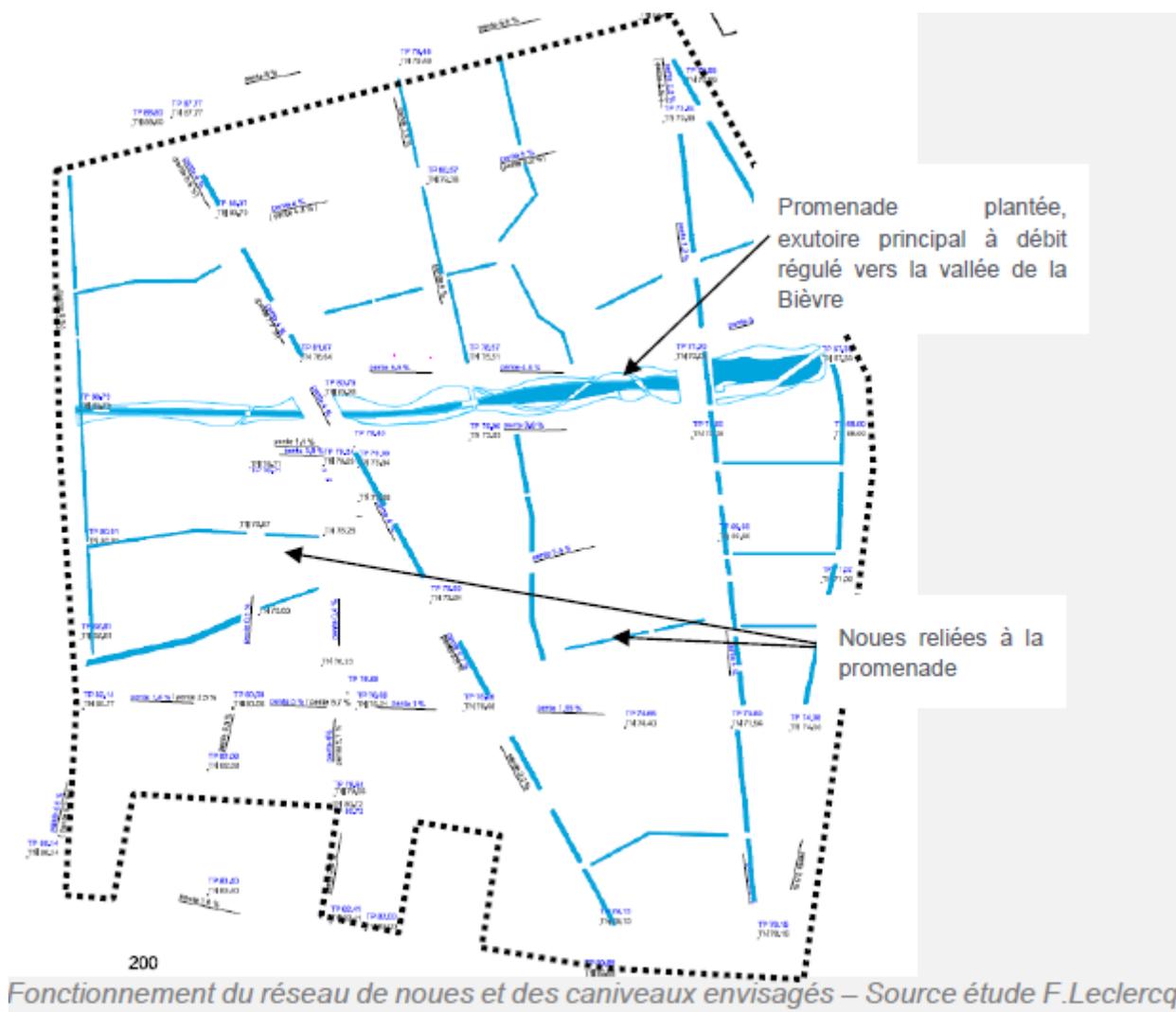
Espaces de pleine terre créés (verts clair) et préservés (vert foncé)

- *Privilégier des toitures végétalisées permettant la rétention des eaux pluviales et prévoir des dispositifs d'évacuation et de stockage des eaux excédentaires. L'excédent devra être collecté et infiltré dans le sol (si possible) ou rejeté au réseau pluvial.*



Toitures végétalisées sur le toit des équipements (place des Vignes au nord-ouest du site)

- *Mesure pour éviter les impacts en phase travail : cahier des charges des entreprises à destination des ouvriers, mesures pour éviter les rejets d'hydrocarbures ou eaux pollués dans les milieux naturels, respect des normes, pompage de l'eau, dispositifs de dépollution.*



L'ensemble du projet de la ZAC (21,3 hectares) va entraîner, de par l'urbanisation du site, une augmentation de l'imperméabilisation des sols. Le coefficient de ruissellement passera de 0,60 à 0,71. Un dossier de demande d'autorisation environnementale au titre de la loi sur l'eau a été déposé par la SEMOP Châtenay-Malabry Parc –Centrale en avril 2018 (Annexe 7.7). Le résumé non technique de ce dossier et le système d'assainissement prévu en conséquence permettra :

- De minimiser l'impact de cette imperméabilisation des sols :
 - o d'une part, grâce à des techniques mises en œuvre pour limiter le ruissellement : toitures végétalisées, revêtement de sols poreux, noues, espaces verts, etc.
 - o d'autre part, par la mise en œuvre de dispositifs de stockage, visant à ralentir le ruissellement ou stocker temporairement les eaux pluviales avant de les rejeter selon un débit écrêté de 42,7 l/s : noues de stockage, espaces verts ou minéraux à inondation temporaire et maîtrisée.
- De stocker 5877 m³ environ, pour une pluie d'occurrence 10 ans, pour l'ensemble de la ZAC avec un débit régulé à 2 L/s/ha sur le réseau.
- De respecter les normes de qualité générale des eaux au niveau du rejet au milieu récepteur.
- De gérer sur site, conformément au SAGE de la Vallée de la Bièvre, c'est-à-dire sans rejet au réseau, les petites pluies d'une hauteur de précipitation de 8 mm.

- De compenser l'actuelle zone humide de 260 m² par la création d'une nouvelle zone humide de 730 m², si les études complémentaires réalisées au moment de l'écriture de ce dossier mènent à cette conclusion.

Le futur réseau d'eaux usées sera raccordé au réseau existant. Les eaux usées collectées seront traitées à la station de Seine Amont.

A noter, qu'au regard des eaux souterraines, le projet prévoit d'éventuels rabattements de la nappe en phase "travaux" pour la construction des fondations et des bâtiments de la ZAC pouvant dépasser les 200 000 m³/an.

Les dispositions pour chaque orientations sont resumées dans le tableau ci-dessous avec les actions prises dans le cadre du projet pour entrer en conformité avec le SAGE.

L'étude hydrogéologique réalisée dans le cadre du projet de Chatenay-Malabry, l'aquifère visé du Lusitanien, les dispositions techniques de conception (gestion des effluents et des eaux de ruissellements pendant le chantier de forage, le programme de forage, de cimentation et de boue), le suivi des puits géothermiques (inspections réglementaires) et le principe du fonctionnement en doublet (puits producteur, puits injecteur) permettent de répondre aux enjeux du SAGE.

OBJETIF	ORIENTATIONS INSCRITES AU PAGD	DISPOSITIONS INSCRITES AU PAGD	CONFORMITE DU PROJET (par rapport aux dispositions, règles et actions concernant le projet et surlignées)			
1	Gouvernance, aménagement, sensibilisation, communication	G-1	Gouvernance et coordination	1 Assurer la cohérence et la coordination des initiatives territoriales sur la gestion de l'eau à l'échelle du territoire du SAGE		
		G-2	Sensibilisation, pédagogie et valorisation des actions	2 Assurer une coordination inter-SAGE		
		G-3	Intégration des enjeux du SAGE dans les projets d'aménagement et dans la planification urbaine	3 Développer, mettre en oeuvre un plan de communication et de partage d'expériences		
				4 Intégrer les objectifs du SAGE dans les documents d'urbanisme		
		5 Assurer une animation et un appui auprès des collectivités et aménageurs pour l'intégration des enjeux liés à l'eau dans les aménagements				
		G-4	Statut de la Bièvre aval	6 Mettre en oeuvre les modalités de l'exercice de la police de l'eau sur la Bièvre aval		
2	Améliorer, restaurer et préserver les milieux dans leur fonctionnalités et continuités écologiques	M-1	7 Étudier les possibilités de réouverture des cours d'eau et rigoles et mener les travaux	Création d'une zone de compensation pour zones humides et de prairies à l'endroit de l'ancien ru canalisé. Remise à ciel ouvert de l'ancien ru de Châtenay.		
			8 Accompagner et coordonner les maîtres d'ouvrage dans leurs projets de réouverture des cours d'eau			
			9 Rétablir la confluence de la Bièvre avec la Seine par temps sec sur le territoire parisien			
			10 Améliorer la connaissance sur l'hydromorphologie de la Bièvre et ses affluents y compris sur les rigoles			
			11 Procéder aux travaux de restauration hydromorphologique			
		M-3	Amélioration de la continuité écologique (sédimentaire et piscicole) et hydraulique (latérale et transversale)	12 Accompagner et coordonner les maîtres d'ouvrage dans leurs projets d'amélioration de la continuité écologique des cours d'eau		
				13 Réaliser les travaux nécessaires à la restauration de la continuité écologique		
				14 Identifier le tracé de la Bièvre et de ses affluents dans les documents d'urbanisme		
				15 Préconiser des marges de recul de l'implantation des constructions futures par rapport aux cours d'eau		
				16 Définir une marge de recul de l'implantation des constructions futures par rapport aux cours d'eau		
	17 Limiter l'artificialisation des cours d'eau					
	M-4			Préservation, restauration et valorisation des zones humides	18 Intégrer les zones humides dans les documents d'urbanisme	
					19 Éviter toute dégradation des zones humides	
					20 Orienter les mesures compensatoires dans le cadre d'impacts résiduels de projets d'aménagements sur les milieux aquatiques ne pouvant être réduits ou évités	Zone humide inventoriée sur la ZAC qui sera compensée par la création à proximité d'une nouvelle zone humide de 730 m ² et protégera une aire de bassin versant de 8300 m ² .
	21 Assurer une gestion adaptée et restaurer les zones humides à enjeux environnementaux					
	22 Encourager à l'acquisition foncière des zones humides					
	M-5	Préservation et gestion des milieux aquatiques associés	23 Améliorer la connaissance sur les espèces invasives et lutter contre leur expansion			
			24 Établir des plans de gestion piscicole	Création d'une zone humide plantée avec système de noues paysagères et bassins pour un assainissement à ciel ouvert.		
			25 Limiter la création de plans d'eau			
			26 Réaliser, actualiser les schémas directeurs d'assainissement			
			27 Prioriser les zones d'action, contrôler et mettre en conformité les rejets d'eaux usées domestiques et non domestiques			
	28 Communiquer, sensibiliser les élus sur les contrôles et mises en conformité des rejets					
	3	Q-1	Réduction des rejets permanents d'eaux usées domestiques, artisanales, industrielles	29 Acquérir des connaissances sur l'ensemble des points de déversements en temps de pluie	Si fuites d'eau géothermale pendant chantier ou exploitation, eau collectée avant d'être dirigée vers le réseau d'assainissement selon la convention de rejet.	
				30 Réaliser les travaux de réduction des déversements d'eaux usées non traitées au milieu "naturel"		
				31 Disposer des données d'auto-surveillance des stations d'épuration du bassin rejetant leurs eaux traitées sur le territoire du SAGE		
Q-2		Réduction des rejets temporaires (en temps de pluie) d'eaux usées domestiques, artisanales et industrielles	32 Accompanyer les collectivités dans une démarche zéro phyto à horizon 2020	Double ou triple tubages protégeant les nappes d'eau du Tertiaire et Crétacé supérieur de potentiels fuites d'eau géothermale. Programme de forage, boue et cimentation suivant les règles de l'art et le guide de l'ADME de bonnes pratiques d'exécution des forages géothermiques profonds. Forage par havage (sans boue, ni fluide) des 40 premiers mètres pour limiter les risques de perte totale des fluides de forage et le gonflement des argiles dans les formations superficielles. Contrôle des paramètres de fluides de forage, principalement de la densité de la boue, pour limiter les pertes dans les formations aquifères. Suivi de l'état des tubages par diagraphies, diagnostic d'anomalies avec contrôles périodiques de grandeurs physiques (électrique, chimique et hydrodynamique).		
			33 Assurer la cohérence des démarches sur le bassin et les échanges entre les différents gestionnaires d'infrastructures			
			34 Informer et sensibiliser la population à la réduction du recours aux produits phytosanitaires			
			35 Améliorer la connaissance sur les pratiques phytosanitaires et de fertilisation sur le plateau de Saclay			
			36 Inciter à la mise en place de baux environnementaux sur le plateau de Saclay			
			37 Améliorer la connaissance sur la contribution de drains agricoles à l'amont aux apports de phytosanitaires et également de nitrates			
			38 Recommander la mise en place de dispositifs tampons à l'aval des drains agricoles existants			
Q-3		Réduction de la pollution phytosanitaire	39 Végétaliser les fossés drainants à ciel ouvert, leurs exutoires et milieux de pente	Plantation d'une palette de végétation hydrophile le long de la zone de compensation (Joncaie, Caricac, Mégaphorbiale, Typhaie, Phragmitaie...)		
			40 Développer auprès des collectivités locales et du grand public un volet « culture du risque inondation »			
			41 Anticiper les désordres et améliorer la communication et la coordination des maîtrises d'ouvrages compétentes dans la gestion du système Bièvre en temps de pluie			
			42 Encourager la réalisation des plans de préventions des risques naturels d'inondation sur le territoire amont du territoire du SAGE			
4	R-2	Réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens par l'intégration du risque débordement de cours d'eau dans l'urbanisme	43 Intégrer la préservation des zones d'écoulement et d'expansion des crues dans les documents d'urbanisme	Compensation de l'imperméabilisation des sols et de l'effet barrage des constructions par la création d'une zone de stockage pour limiter le débit rejeté au réseau d'assainissement à 2l/s/ha.		
			44 Préserver les zones naturelles d'expansion de crues de tout nouvel aménagement			
			45 Reconquérir les zones naturelles d'expansion des crues			
			46 Partager les connaissances et aboutir à des règles de gestion concertée à l'échelle du territoire du SAGE			
			47 Mettre à jour ou établir des protocoles de transfert			
	R-3	Prévention avec la mise en place de règles de gestion concertée inter-acteurs	48 Supprimer les points noirs actuels identifiés sur les réseaux routiers	Eaux pluviales stockées sur le site et dirigées vers le réseau d'assainissement suivant une convention de rejet		
			49 Améliorer la gestion intégrée des eaux pluviales urbaines			
			50 Gérer les eaux pluviales dans le cadre de nouveaux projets d'aménagement ou de rénovations urbaines présentant un rejet d'eaux pluviales au milieu naturel			
			51 Accompagner les élus, les propriétaires fonciers et les aménageurs pour une bonne intégration de la gestion des eaux pluviales dans les nouveaux projets d'aménagement et dans les projets de réhabilitation			
			52 Accompagner les propriétaires fonciers dans la mise en place d'une meilleure gestion des eaux pluviales sur l'existant			
R-4	Prévention en limitant les ruissellements à la source	53 Réaliser les travaux de rétention et de traitement des eaux de pluie sur les infrastructures et les bâtiments publics existants	Traitement et rétention de l'eau de ruissellement à la parcelle			
		54 Sensibiliser les agriculteurs et exploitants forestiers aux pratiques permettant de limiter le ruissellement des eaux et ses impacts sur les milieux aquatiques				
		55 Étudier les solutions pour maîtriser les risques et réduire les débordements de réseaux d'assainissement dommageables sur les zones les plus vulnérables				
		56 Renforcer et promouvoir les circuits de valorisation du patrimoine hydraulique et du patrimoine bâti en lien avec l'eau		Destruction au maximum des surfaces bitumées et bétonnées du chantier de forage		
		57 Communiquer auprès du grand public sur l'histoire de la Bièvre				
58 Promouvoir la valorisation du patrimoine naturel						
59 Suivre les réflexions sur le rétablissement de la continuité hydraulique entre le réseau des étangs et rigoles du plateau de Saclay et Versailles						
56	Renforcer et promouvoir le patrimoine hydraulique et du patrimoine bâti en lien avec l'eau	Compensation de l'imperméabilisation des sols et de l'effet barrage des constructions par la création d'une zone de stockage pour limiter le débit rejeté au réseau d'assainissement à 2l/s/ha.				
57	Communiquer auprès du grand public sur l'histoire de la Bièvre					
58	Promouvoir la valorisation du patrimoine naturel					
59	Suivre les réflexions sur le rétablissement de la continuité hydraulique entre le réseau des étangs et rigoles du plateau de Saclay et Versailles					
5	Renforcer l'attrait des cours d'eau, protéger, restaurer et promouvoir le patrimoine lié à l'eau					
5	P-1	Protection et valorisation du patrimoine naturel, paysager et historique	56 Renforcer et promouvoir les circuits de valorisation du patrimoine hydraulique et du patrimoine bâti en lien avec l'eau			
			57 Communiquer auprès du grand public sur l'histoire de la Bièvre			
			58 Promouvoir la valorisation du patrimoine naturel			
			59 Suivre les réflexions sur le rétablissement de la continuité hydraulique entre le réseau des étangs et rigoles du plateau de Saclay et Versailles			

Tableau 42: Compatibilité du projet avec le SAGE de la Bièvre

4.4.15.3 Protection des ressources en eaux souterraines au droit du site

Le caractère non toxique, mais polluant de l'eau géothermale du Lusitanien, 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. L'objectif est de conserver la qualité chimique et bactériologique des nappes traversées lors de la réalisation des forages. Il est par ailleurs indispensable d'éviter les communications entre les nappes pour éviter les transferts de pollution d'une nappe à une autre. Cette contrainte est prise en compte dès la conception de l'ouvrage.

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 ou de cimentation poreuse. Cet aquifère pourrait devenir impropre à la consommation ou à certaines utilisations. Les mesures prévues pour supprimer, réduire ou éviter la survenance d'un tel accident interviennent à trois niveaux (Cf. Paragraphe 4.5).

- à la conception de l'ouvrage ;
- en cours d'exploitation ;
- lors des contrôles périodiques réglementaires.

Les eaux de surfaces concernées

Cours d'eau

Le projet est situé dans le bassin versant de la Bièvre, affluent de la Seine. La Bièvre prend sa source au hameau des Bouviers, sur la commune de Guyancourt. Elle est alimentée par de nombreux affluents dont le ru de Morteaux, lui-même issu du ru d'Aulnay et du ru de Châtenay.

Historiquement, le Ru de Châtenay était alimenté par 2 sources : une située au niveau des plans d'eau situés rue des Vallées et une située rue Marrou. Ces 2 sources sont aujourd'hui canalisées et l'ancien ru de Châtenay dévié par un réseau enterré passant sous la rue Fayot et le boulevard de la Division Leclerc (Cf. paragraphe 4.3.2).



PLAN DU RU DE CHATENAY EN 1898
SOURCE : VILLE DE CHATENAY - MALABRY



PLAN DU RU DE CHATENAY ACTUEL
SOURCE : VILLE DE CHATENAY - MALABRY

Figure 181 : Localisation du Ru de Chatenay

Zones humides

Pour faciliter la préservation des zones humides et leur intégration dans les politiques de l'eau, de la biodiversité et de l'aménagement du territoire à l'échelle de l'Île-de-France, la DIREN a lancé en 2009 une étude visant à consolider la connaissance des secteurs potentiellement humides de la région selon les deux familles de critères mises en avant par l'arrêté du 24 juin 2008 modifié - critères relatifs au sol et critères relatifs à la végétation.

Etant donnée la probabilité d'une présence de zone humide de classe 3 sur le site de la ZAC (Cf. Figure ci-dessous), une étude pédologique et végétation a été réalisée par le cabinet Even en 2018 qui a pu déterminer la présence d'une zone humide sur le site de la ZAC. Celle-ci est décrite comme un habitat EUNIS E3.4 « Prairies eutrophes et mésotrophes humides ou mouilleuses ».



Figure 182 : Enveloppes d'alerte potentiellement humides dans le secteur d'étude (DRIEE)

Des études plus poussées quant à la durabilité de cet habitat sont en train d'être menées par le BE Even Conseil afin de conclure sur sa dynamique d'évolution et sa fonctionnalité écologique. Ces résultats conclurons ou non sur la pertinence de la conserver ou bien d'enclencher les mesures de compensatoires prévues à cet effet.

Cette zone de 260 m² (en bleu clair) pourrait être détruite lors de l'aménagement de la ZAC, une zone humide de compensation de 730 m² serait construite à proximité de la zone humide initiale (chevauchement partiel) comme illustré ci-après (cf. Carnet de compensation de la zone humide, Annexe 7.8). Les sites du chantier de forage ne seront pas situés sur cette zone potentiellement humide.

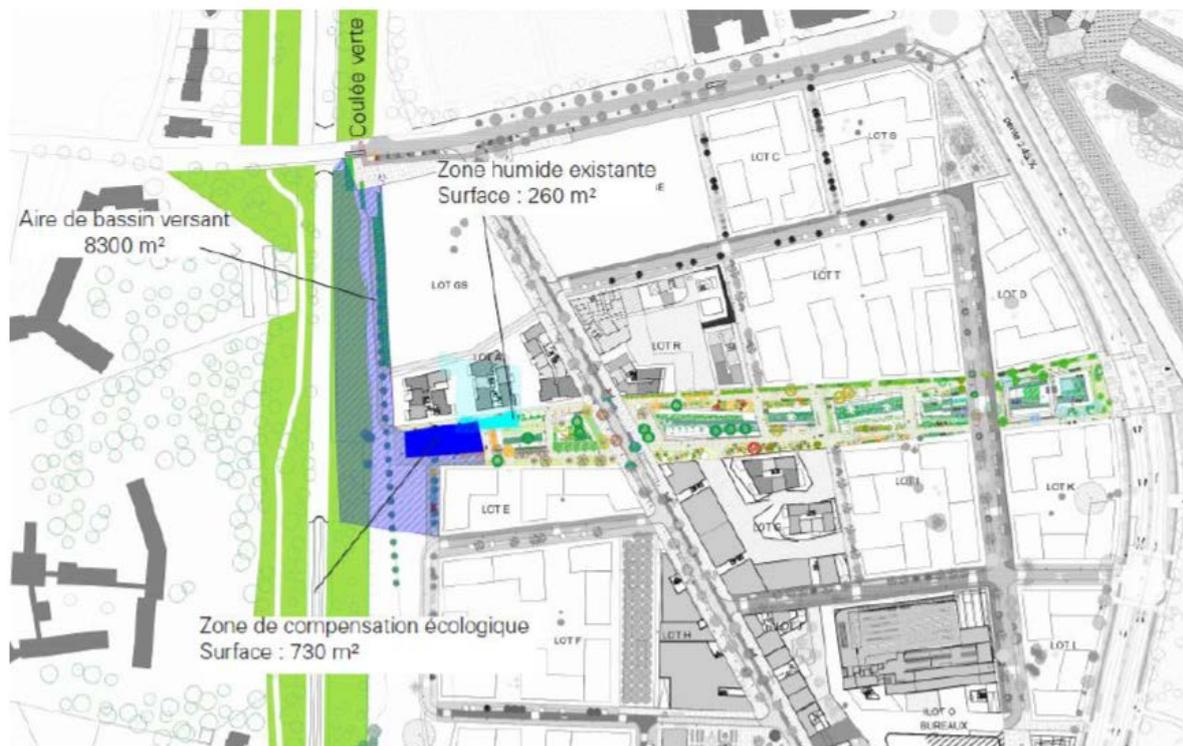


Figure 183: Zone de compensation écologique pour la destruction de la zone humide lors de l'aménagement de la ZAC (Source : Etude d'impact ZAC, Even Conseil, Avril 2018)

Les aquifères superficiels concernés

Au niveau du site de la ZAC, plusieurs aquifères sont concernés par le projet, du Tertiaire à celui de l'Albien/Néocomien (Cf. Tableau 11), considérés comme superficiels par opposition à l'aquifère du Lusitanien, cible du projet. Les cinq aquifères superficiels identifiés sont du haut vers le bas:

- la nappe des Marnes de Pantin et Marnes et masses du gypse du Ludien ou Priabonien,
- les nappes du Calcaire de Saint-Ouen et des Sables d'Auvers-Beauchamp du Bartonien (l'Eocène moyen),
- la nappe du réservoir multicouche du Lutétien de l'Eocène moyen et de l'Yprésien de l'Eocène inférieur (Marnes et Caillasses, Calcaire grossier, Sables Yprésiens) ;
- la nappe du réservoir de la Craie (Crétacé supérieur, Sénonien) ;
- l'aquifère sableux multicouches de l'Albien/Néocomien (Crétacé inférieur).

La vaste unité hydrographique des nappes du Tertiaire 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'Île de France. Elle s'étend dans 7 départements : Aisne (02), Aube (10), Marne (51), Seine et Marne (77), Essonne (91), Seine St Denis (93) et Val de Marne (94). Cette nappe libre, totalement affleurante, à une superficie de 5 164 km².

Les nappes du Tertiaire se situent dans des couches géologiques de l'ère tertiaire ou Cénozoïque. Elles sont constituées par un ensemble multicouche de formations calcaires séparées localement par des intercalations marneuses ou marno-sableuses. Elles sont encadrées à leur base par la craie du Crétacé supérieur. D'un point de vue hydrogéologique, des nappes phréatiques et circulations d'eaux superficielles sont susceptibles d'être présentes dans les formations au droit du site. Cet empilement est composé du haut vers le bas:

- **La nappe des Marnes de Pantin ou supragypseuses et Marnes et masses du gypse et infragypseuses (Ludien ou Eocène supérieur)**

Les formations du Ludien présentent des variations latérales importantes de faciès à l'échelle de la région Ile-de-France. Les gypses et les marnes passent latéralement à des faciès calcaires avec ou sans marnes intercalées.

La série du gypse et des Marnes associées occupe la partie centrale de l'Île-de-France et forme le soubassement des buttes oligocènes. On le retrouve au sud de la Seine entre la région de Beynes et celle de Palaiseau et au sud de la Marne. Hors de cette zone, cette série passe latéralement et notamment au sud, à des faciès lacustres, représentés entre autres par le Calcaire Ludien ou Calcaire de Champigny s.l. qui constitue l'entablement de la Brie et s'engage sous la Beauce pour constituer, au-delà de l'extension de la formation des Marnes vertes, une partie des Calcaires de Château-Landon s.l.

Ces formations reposent sur les Marnes infragypseuses aussi appelées Marnes à Pholadomyes et couronnées par les Marnes supragypseuses ou Marnes de Pantin.

NB : Les horizons perméables de la nappe ludienne devraient se rencontrer à partir de 9 mètres de profondeur des forages. Ils seront traversés lors de la mise en place du tube guide par la méthode de havage jusqu'à 40 mètres de profondeur, qui limitera le lessivage notamment des horizons gypseux et limitera l'hydratation des horizons argileux. La nappe sera protégée du fluide géothermal du Lusitanien par un quadruple cuvelage (tubage 13''^{3/8}, 9''^{5/8} et 7'' et tube guide) au niveau du puits d'injection et d'un triple cuvelage au niveau du puits de production (tubage 18''^{5/8} et 13''^{3/8} et tube guide) (Cf. paragraphe 3.1.4).

- **Les nappes du Calcaire de Saint-Ouen et des Sables d'Auvers-Beauchamp (Eocène moyen ou Bartonien)**

La puissance des Sables de Beauchamp se présente sous un faciès d'argiles sableuses, vertes, entrecoupées de lits millimétriques d'argiles vertes. On y rencontre habituellement des petits niveaux de gypses albatroïde ou saccharoïde.

Le faciès des Calcaires de Saint-Ouen et des Sables de Monceau ont une épaisseur plus constante, avoisinant les 15 m. Les niveaux de gypse saccharoïde ou microcristallin y sont fréquents.

Ces nappes ne sont productives qu'au nord de la fosse de Draveil. Cependant l'alternance de sédiments gypseux, marneux ou argileux rend leur captage et l'obtention de débits très aléatoires. La présence de gypse rend les eaux très minéralisées proches de la saturation en sulfates (1800 à 1900 mg/L).

Au droit du secteur d'étude, les formations attribuées au Bartonien présentent une épaisseur prévisionnelle de l'ordre de 18 mètres (Cf. Tableau 11).

NB : La nappe du Bartonien devraient se rencontrer à partir de 42 mètres de profondeur des forages. Elle sera protégée du fluide géothermal du Lusitanien par un triple cuvelage (tubage 13''^{3/8}, 9''^{5/8} et 7'') au niveau du puits d'injection et d'un double cuvelage au niveau du puits de production (tubage 18''^{5/8} et 13''^{3/8}) (Cf. paragraphe 3.1.4).

- **La nappe du l'Eocène moyen et inférieur (Lutétien et Yprésien)**

Ce réservoir est considéré comme un aquifère multicouches car il est constitué par l'ensemble des formations du Lutétien (Eocène moyen) et de l'Yprésien (Eocène inférieur) : les Marnes et Caillasses, les Calcaires grossiers et les Sables de la base de l'Yprésien.

Cette nappe principale, dans le secteur d'étude, comprend deux assises : l'Eocène moyen et inférieur qui sont susceptibles d'être captées pour fournir de l'eau en abondance.

La première est constituée par les calcaires sableux de la base du Lutétien (Sables d'Auteuil), difficile à différencier de l'ensemble argilo-sableux qui surmonte l'argile plastique. Elle peut fournir des débits au-delà de 50 m³/h.

La seconde est représentée par un dépôt de galets de silex à la base des sédiments yprésiens, peut fournir des débits d'exploitation jusqu'à 200 m³/h.

Ces eaux sulfatées calcaires et magnésiennes sont assez minéralisées (résistivité de 1100 ohm.cm à 20°C), liées à la présence de niveaux gypseux notamment dans le niveau des Marnes et Caillasses.

NB : La nappe de l'Eocène moyen et inférieur devraient se rencontrer à partir de 60 mètres de profondeur des forages. Elles seront protégées du fluide géothermal du Lusitanien par un triple cuvelage (tubage 13''^{3/8}, 9''^{5/8} et 7'') au niveau du puits d'injection et d'un double cuvelage au niveau du puits de production (tubage 18''^{5/8} et 13''^{3/8}) (Cf. paragraphe 3.1.4).

- **L'aquifère de la Craie sénonienne**

Cet aquifère correspond à un calcaire blanc, plus ou moins induré, formé de carbonate de chaux presque pur, coupé de lits dolomitiques et des niveaux de silex noirs. Des phénomènes de fracturation et de karstification dans sa partie sommitale confèrent à la Craie, son caractère aquifère ou lorsque qu'elle affleure, dans la vallée de la seine (boucle de Croissy et Boulogne) ou sous faible recouvrement tertiaire notamment à l'est de Paris (Yvelines et Val d'Oise).

L'aquifère est très important du fait de son épaisseur utile ou productive (jusqu'à 60 m). La perméabilité, qui définit sa vitesse d'écoulement, est importante dans les zones fracturées. Cette nappe est généralement productive lorsque les sédiments sus-jacents du tertiaire n'excèdent pas une quarantaine de mètres. Dans le secteur d'étude, la craie sera captive et peu productive. Les quelques captages ayant atteint ce réservoir en Essonne n'ont pas révélé de potentiel aquifère très intéressant.

Les eaux de la Craie sont généralement très minéralisées sauf dans les secteurs où une communication avec la nappe alluviale est notée.

Au droit du secteur d'étude, le toit de la Craie se trouve à une profondeur prévisionnelle de 130 m.

NB : La partie sommitale de la Craie, sera protégée du fluide géothermal du Lusitanien par un triple cuvelage (tubage 13''^{3/8}, 9''^{5/8} et 7'') au niveau du puits d'injection et d'un double cuvelage au niveau du puits de production (tubage 18''^{5/8} et 13''^{3/8}).

- **L'aquifère de l'Albien-Néocomien**

Sous les deux tiers du bassin de la Seine, se trouvent les nappes captives de l'Albien et du Néocomien. Ces aquifères du Crétacé inférieur constituent une réserve profonde de très grande qualité. Elle est totalement sous couverture sur le territoire de l'Île-de-France. Elle est donc bien protégée des pollutions de surface et des contaminations bactériologiques et chimiques. Son alimentation est assurée essentiellement par drainance 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.

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Seine- Normandie (1996), les identifie comme des nappes d'importance stratégique sur le plan de l'alimentation en eau potable.

Ces nappes doivent donc être exploitées de manière à préserver impérativement leur fonction de secours pour l'alimentation en eau potable de la région Île-de-France et des régions voisines. Ces nappes sont inscrites en Zone de Répartition des Eaux (décret 2003-869 du 11 septembre 2003) ; la disposition principale en étant que le régime de l'autorisation est appliqué à partir d'un débit prélevé de 8 m³/h. Leur bon état quantitatif est assuré par le respect des prescriptions détaillées dans la disposition 114 du SDAGE adopté en fin 2009.

Le Crétacé inférieur comprend plusieurs formations sableuses, regroupées en deux ensembles, Albien et Néocomien. Leur imbrication à l'échelle régionale conduit à ne considérer qu'un système hydrogéologique. Compte tenu de leur accessibilité supérieure et de leurs excellentes caractéristiques hydrodynamiques, la nappe des sables de l'Albien ou Néocomien est généralement captée seule, et leur productivité suffit

habituellement aux besoins tant thermiques (Tour Mirabeau/Cristal (ex AGF), Issy-les-Moulineaux) qu'aux fins d'alimentation en eau potable (La Plaine Saint-Denis, SEDIF à Pantin).

La nappe est constituée de sables compris entre des niveaux argileux supérieurs (argiles du Gault) et inférieurs (marnes du Purbeckien). Le caractère captif de la nappe, associé à une profondeur minimale de 640 mètres dans le secteur de Chatenay, lui confère une qualité chimique remarquable à l'échelle régionale. Les eaux sont très peu minéralisées (salinité totale de l'ordre de 200 à 300 mg/L), son pH est neutre et sa température est de l'ordre de 30 à 36°C.

Au début de son exploitation (1934), la nappe de l'Albien était artésienne. Actuellement, par suite d'un abaissement régional de la surface piézométrique, son niveau statique devrait être autour de la cote + 30 m NGF. Les sables du Néocomien sont moins sollicités et donc moins connus dans le Bassin Parisien ; la position de son niveau piézométrique est relativement incertaine.

Les forages en exploitation les plus proches sont ceux du doublet géothermique au Néocomien du Plessis-Robinson (LPR-1 / LPR-2), situés à environ 3 km du projet et celui du doublet géothermique à l'Albien (ILM-1 / ILM-2) d'Issy les Moulineaux, situés à plus de 6 km au nord de la ZAC (Cf. Figures suivantes).

N.B : les nappes de l'Albien-Néocomien, comprises entre 640 et 900 mètres de profondeur seront protégées par un double cuvelage (tubage 9''^{5/8} et 7'') au niveau du puits d'injection et simple cuvelage au niveau du puits de production (7''^{5/8} en composite).

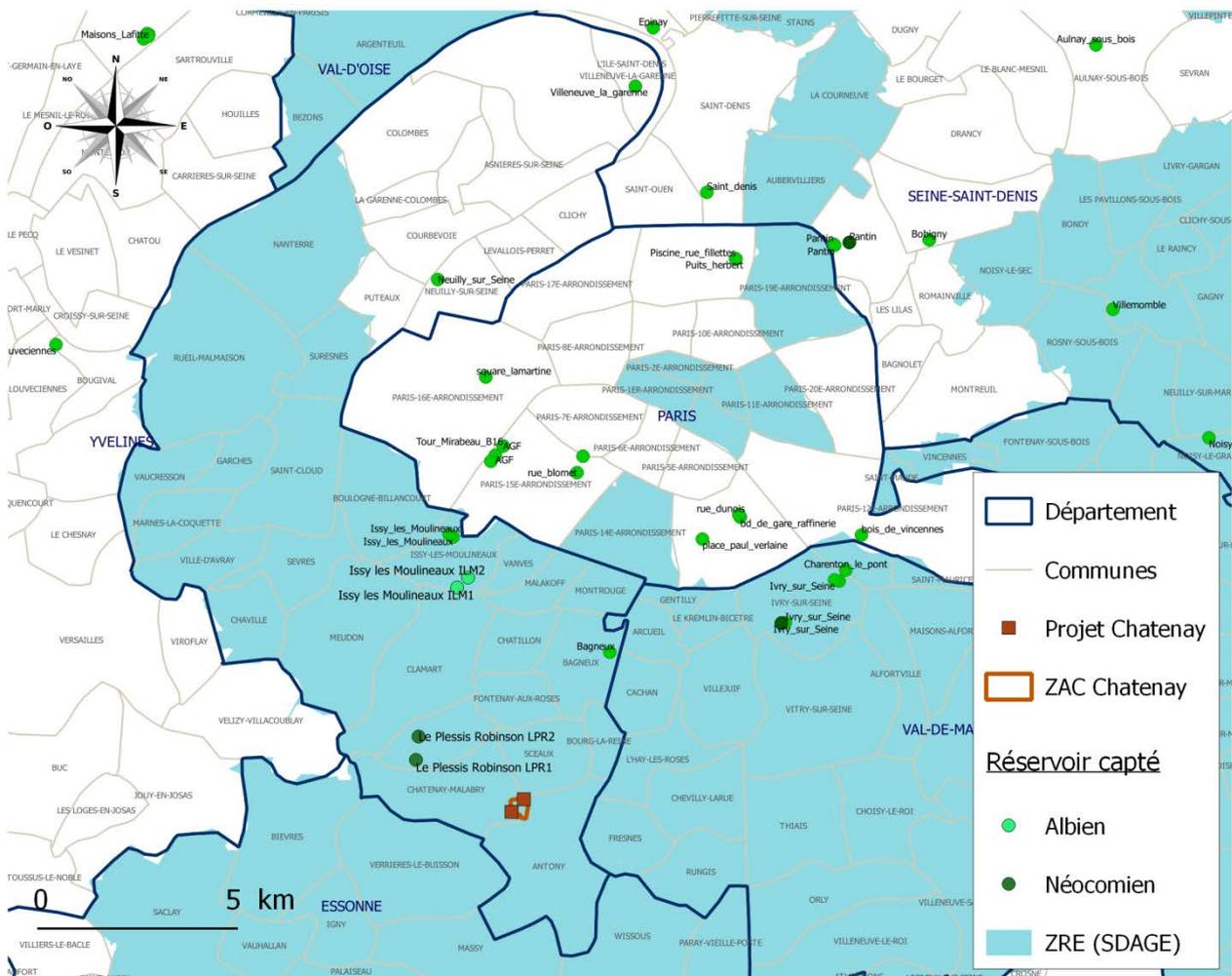
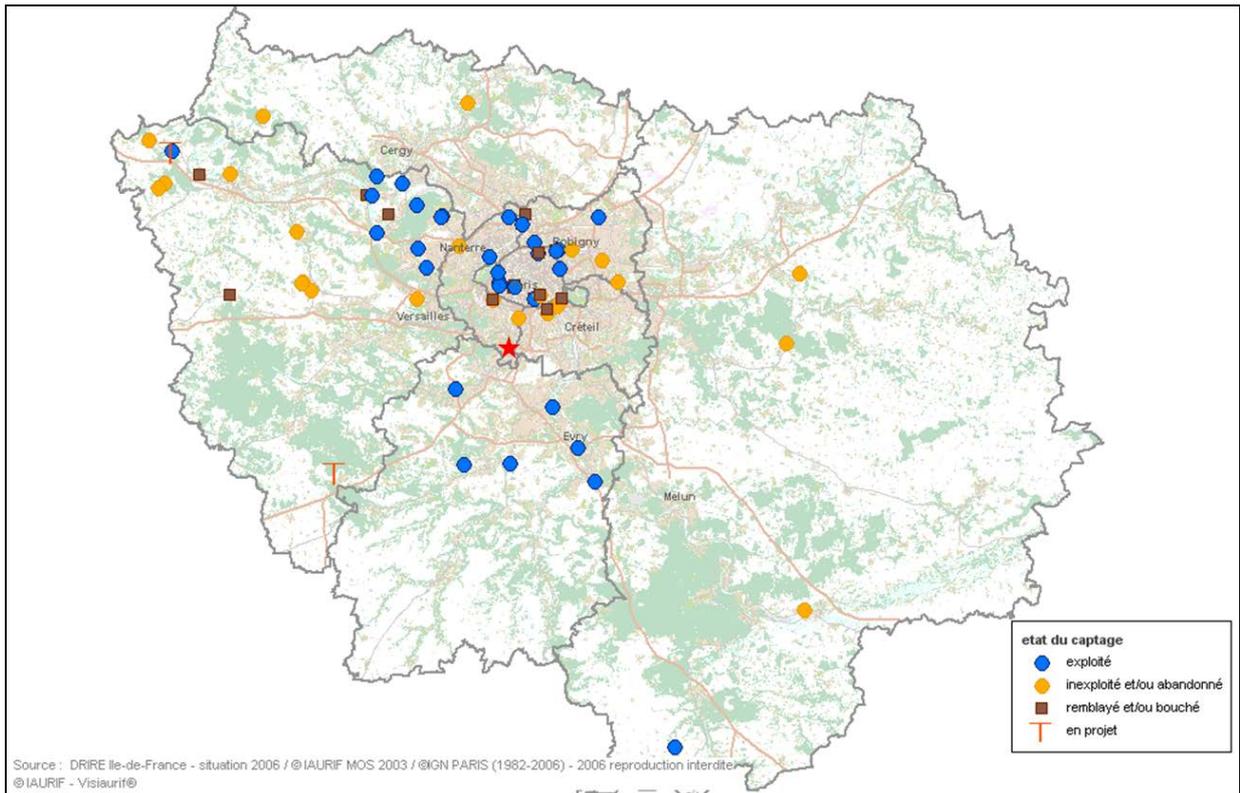


Figure 184 : Carte des forages à l’Albien-Néocomien en Ile de France

Ouvrages de captage d'eau potable aux abords du site

La commune de Chatenay-Malabry se situe au carrefour de trois départements. Suite à la demande d'information sur les captages d'alimentation en eau destinée à la consommation humaine auprès des Délégations Territoriales de l'Agence Régionale de Santé (ARS) de l'Essonne, des Hauts-de-Seine et du Val-de-Marne (Annexe 7.10), **il n'existe aucun captage d'eau potable dans un rayon de 9 km autour du site. Aucun périmètre de protection n'impacte la commune de Châtenay-Malabry ni le secteur d'étude de la ZAC (Cf. figures ci-dessous).**

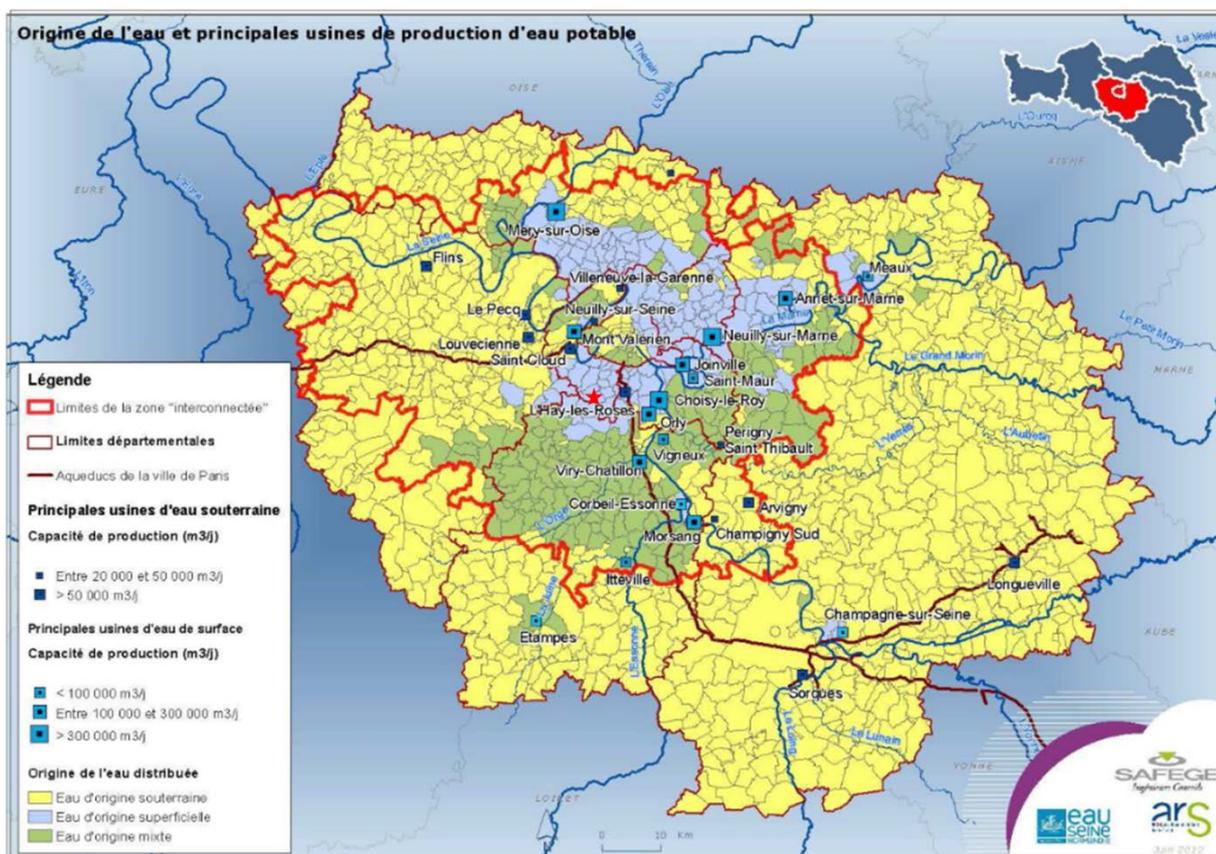


Figure 185 : Origine de l'eau et usines de production d'eau potable d'Ile de France

Dans le Val de Marne, les communes limitrophes de l'Hay-les-Roses, Fresnes, Chevilly-Larue, Cachan et Villejuif sont alimentées par l'usine d'eau potable de Choisy-le-Roi ; seule la commune de Rungis est également alimentée par l'eau souterraine en provenance d'un captage situé sur la commune de Savigny-le-Temple. Les périmètres de protection de captages AEP souterrains sont essentiellement localisés sur les communes de Mandres-les-Roses et Perigny. Les prises d'eau superficielles du département se situent sur la Seine à Choisy-le-Roi et Orly à plus 9 km de la ZAC et sur la Marne à Joinville-le-Pont à plus de 14 km du secteur d'étude.

Les périmètres de protection ou servitudes des aqueducs de la Vanne et du Loing, traversant du sud au nord le département, sont limités à son environnement proche soit 40 mètres autour des infrastructures.

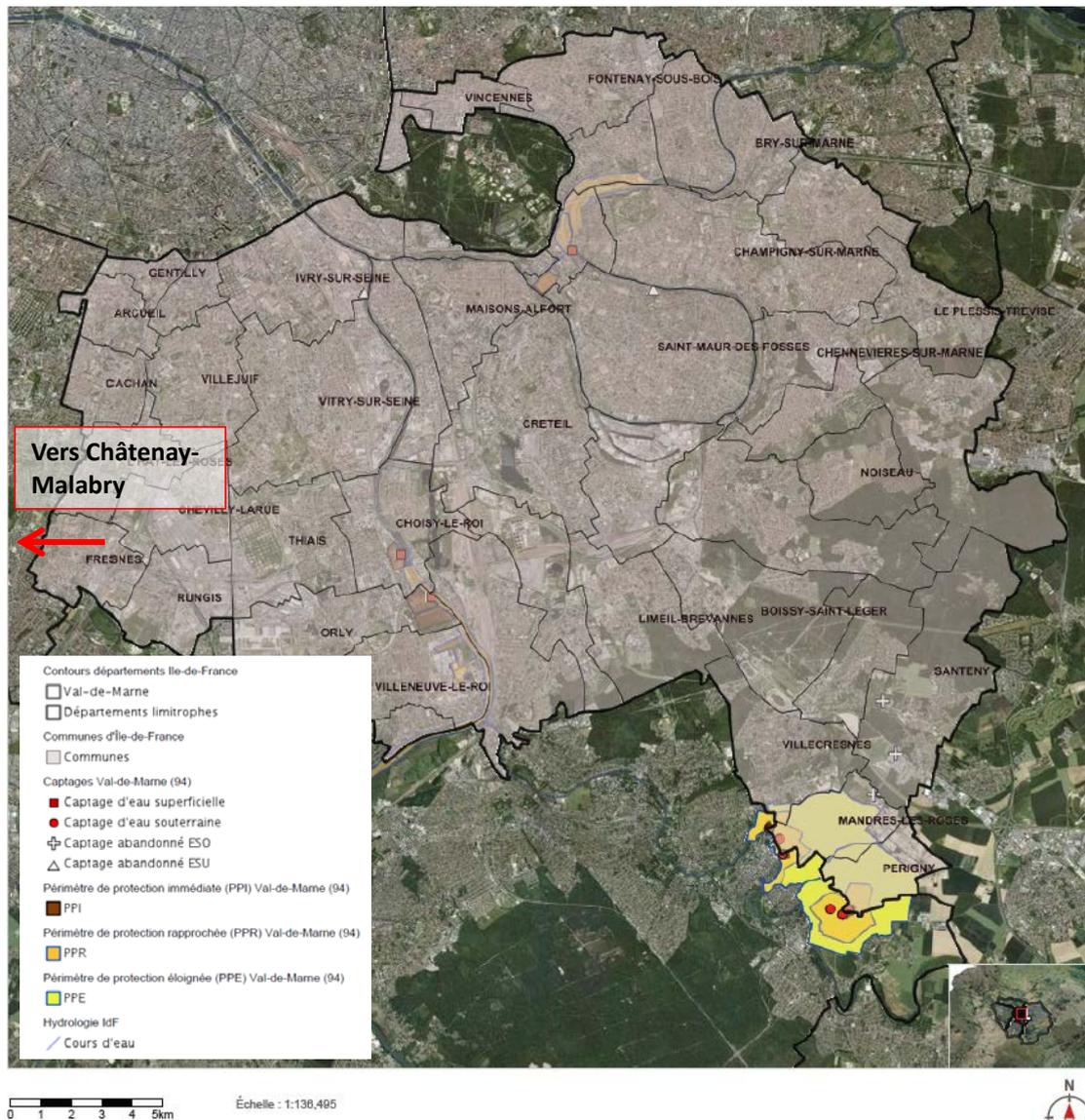


Figure 186 : Captages d'eau potable du Val de Marne (94) et leurs périmètres de protection

Dans les Hauts-de Seine, les communes de Châtenay-Malabry, Sceaux, Bourg-la-Reine, Anthony, Plessis-Robinson, Clamart, Fontenay-aux-Roses, Bagneux et Châtillon sont également alimentées par l'usine d'eau potable de Choisy-le-Roi.

Les périmètres de protection de captages AEP souterrains sont ceux des forages à l'Albien de Neuilly-sur-Seine à plus de 13 km du site et sur le champ captant au Lutétien-Yprésien et Albien de Gennevilliers et Villeneuve-la-Garenne à plus de 18 km du secteur d'étude (Cf. Figure ci-après).

Les périmètres de protection ou servitudes de l'aqueduc de l'Avre, traversant le centre du département, sont limités à son environnement proche.

La prise d'eau superficielle la plus proche est celle sur Seine du Mont-Valérien. Ces périmètres de protection concernent seulement les communes de Saint-Cloud, Suresnes et Boulogne-Billancourt.

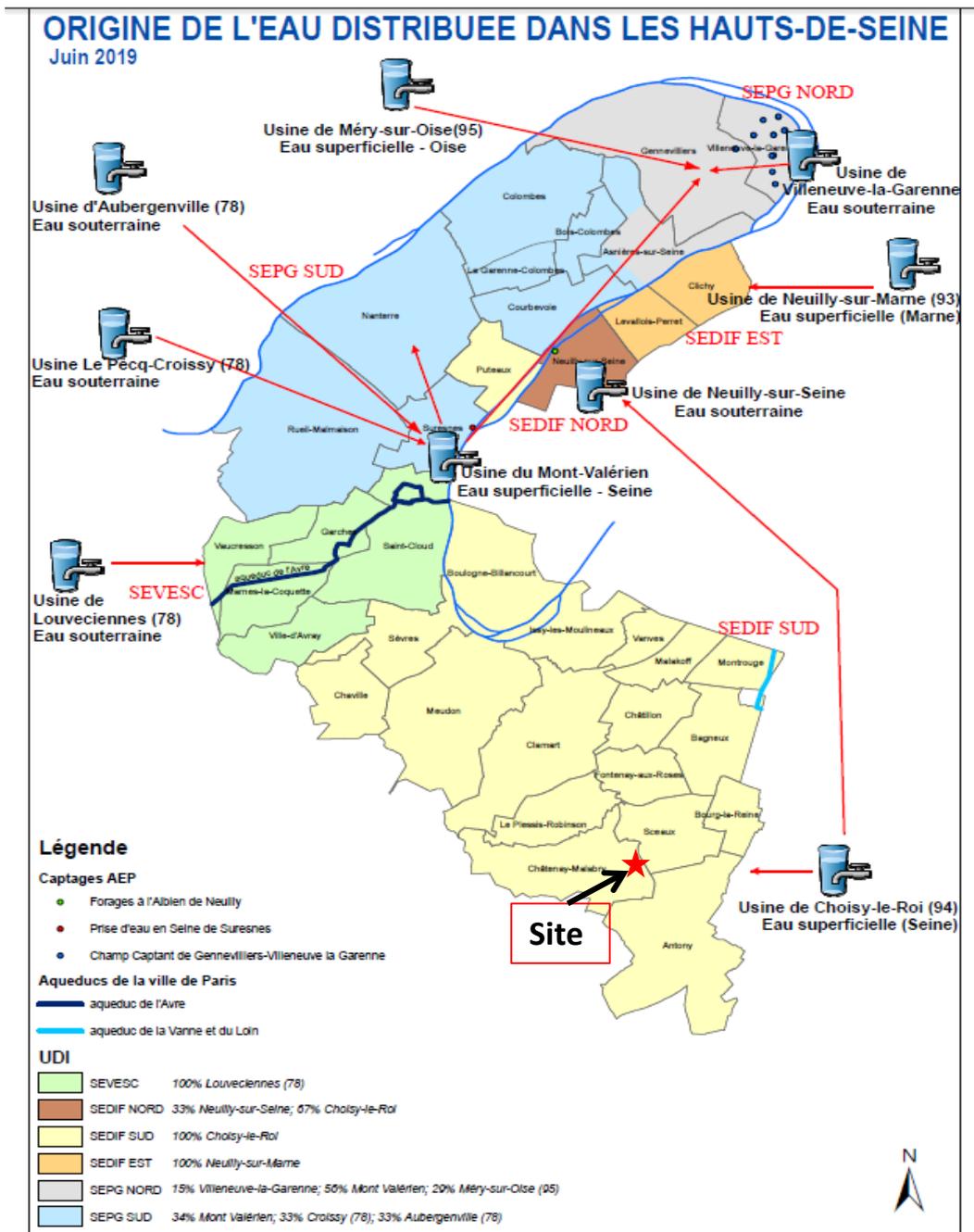


Figure 187 : Captages d'eau des hauts de Seine (ARS 92)

Dans le département de l'Essonne, aucun captage AEP ni périmètre de protection ne sont recensés sur les communes limitrophes de Verrières-le-Buisson, Bièvres, Wissous, Igny et Massy.

Bien que le site soit entouré de forages d'eau ou piézomètres (Cf. Figure ci-dessous), aucun n'est destiné à la consommation d'eau potable.

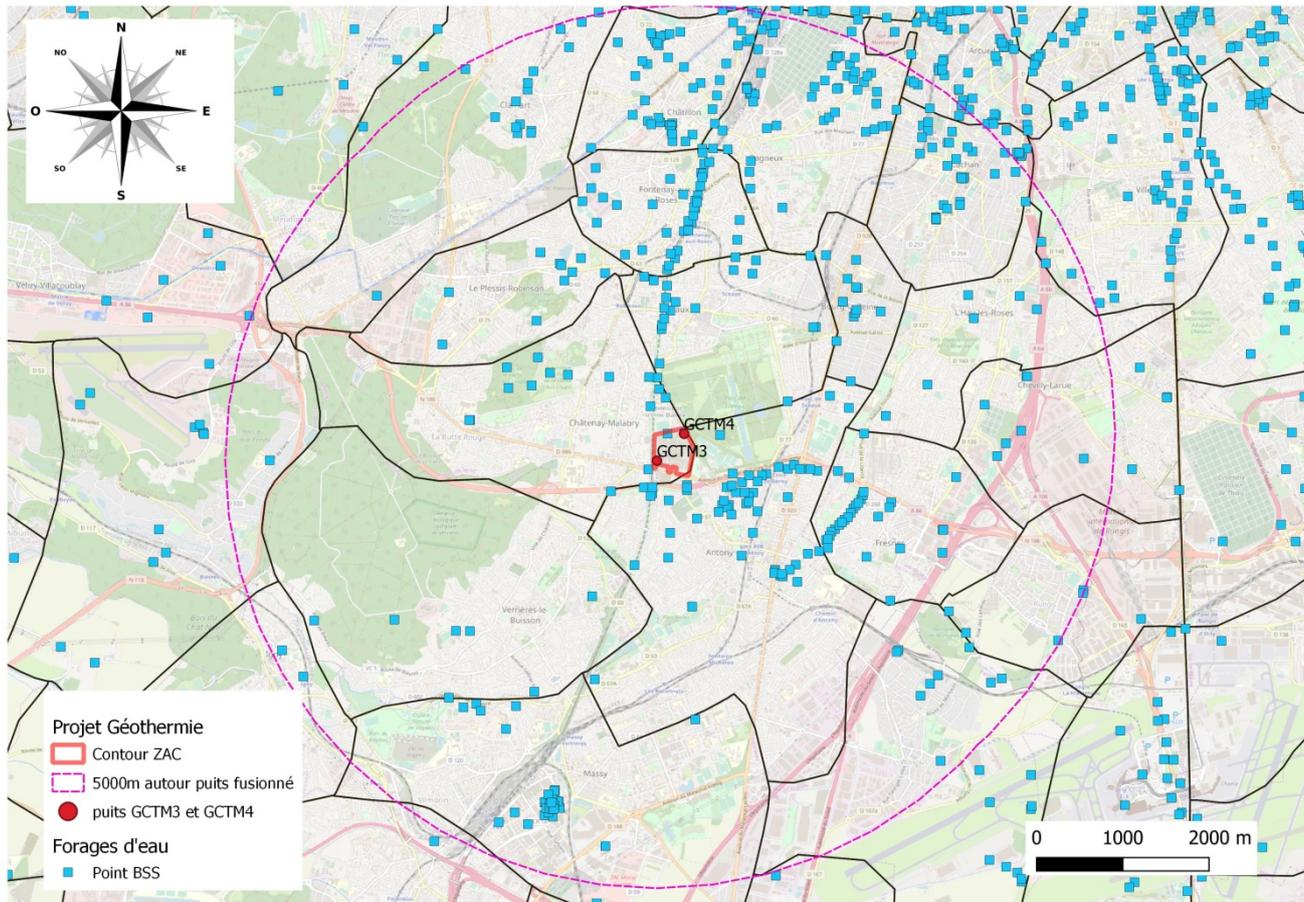


Figure 188 : Carte des forages d'eau dans un rayon de 5 km autour du site (BSS)

Compte tenu de la bonne protection naturelle des nappes exploitées pour l'alimentation en eau potable, qui sont en profondeur, et de la distance qui sépare le site de ces captages AEP, le projet n'aura pas d'impact sur la qualité des eaux de la nappe alimentant le secteur en eau potable.

Lors de la phase de travaux, le programme de forage et de boue est conçu de manière à limiter les pertes. Lors de l'exploitation, la présence du double ou du triple cuvelage protège les aquifères superficiels des risques de fuites d'eau géothermale.

La conception des forages, les moyens mis en œuvre lors des travaux et les conditions d'exploitation permettront de respecter les directives visant à la protection des eaux de surfaces (Cf. paragraphe 4.4.12.2).

Le site de chantier de la ZAC n'est pas concerné par la présence de servitudes d'utilités publiques concernant la présence de captage d'Alimentation en Eau Potable (AEP) ni de périmètres protection (PPI, PPR ou PPE).

4.4.15.4 Incidence des travaux sur les ressources en eaux souterraines et mesures destinées à en supprimer ou en atténuer l'impact

Conception des forages

La partie haute du puits injecteur sera dotée d'une triple enveloppe entre le sol et 280 mètres de profondeur pour le puits de réinjection. Cette zone est généralement le siège de corrosion des cuvelages par l'extrados, au contact des nappes et en raison de la circulation de courants de fuite. Pour permettre l'installation d'une chambre de pompage, la zone entre le sol et 350 mètres de profondeur pour le puits de production sera recouverte par deux tubages (tubages 18^{5/8}, 13^{3/8}).

Les forages seront équipés de tubages permanents en acier ou en composite, cimentés sur toute leur hauteur, interdisant toute communication des aquifères entre eux.

Un double tubage 9^{5/8} et 7" présent entre 0 et 1 250 mètres de profondeur pour le puits de réinjection et un simple tubage en composite entre 400 et 1 250 mètres pour le puits de production sécurisera la traversée de l'aquifère de l'Albien Néocomien (Cf. paragraphe 3.1.4.3).

Les cimentations annulaires feront l'objet d'une attention particulière. La technique de cimentation et le choix du ciment seront adaptés et les contrôles de fin d'opération (CBL et URS-USIT notamment) garantiront la qualité des barrières mises en place.

Durant la réalisation des forages

Les opérations de forage provoquent 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 eau nécessaire pour fabriquer la boue et compenser les pertes en eau dans les forages sont évalués suivant la nature des 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.

Au droit des formations perméables, il y a la création d'un dépôt à la surface de la paroi du puits (on parle de "cake"). Seule la phase aqueuse de la boue envahit la matrice rocheuse. On estime que cette invasion ne dépasse pas une distance égale à 10 fois le diamètre du trou soit environ 3 mètres pour un forage de diamètre 12^{1/4}.

Dans le cas de terrains à très forte perméabilité, le forage peut connaître des "pertes totales", c'est-à-dire sans retour du fluide injecté, les débits de fuite dans les terrains peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres cubes par heure. En pertes totales, il sera plus judicieux de forer à l'eau claire que d'utiliser de la boue de bentonite.

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.

FOCUS SUR LA PROTECTION DE L'AQUIFERE DE L'ALBIEN-NEOCOMIEN

Sur la base des ressources bibliographiques récentes ayant traitées les aspects de la ressource de l'Albien-Néocomien et de sa préservation vis-à-vis des risques de pollution engendrés par les ouvrages profonds, ce chapitre vise à répertorier les risques vis-à-vis d'une exploitation des aquifères sous-jacents.

Un bilan sera réalisé concernant les risques de pollution de l'aquifère de l'Albien-Néocomien dans le cadre de projet géothermique de Chatenay-Malabry et de l'utilisation d'un simple tubage en composite dans le cas du puits d'exploration vertical GCTM-3.

Point sur la cimentation

Le succès d'une cimentation de cuvelage dépend du succès de chaque des étapes de l'enchaînement suivant :

- Du caractère vertical ou dévié du puits réalisé ;
- De la préparation du trou nu avant la cimentation ;
- Du choix des équipements de centralisation et de leur position ;
- De la sélection du ciment et des additifs aux conditions du puits ;
- Du mixage et du pompage du laitier (volumes fabriqués, régime d'écoulement) ;

- Du déplacement du laitier lors de sa mise en place dans l'annulaire en évitant toute contamination par la boue de forage ;
- De l'attente de prise (« durcissement du ciment »).

Depuis 2014 jusqu'à 2017, le BRGM a été missionné pour réaliser un guide des « bonnes pratiques » d'exécution des forages géothermiques profonds en région Île-de-France. Ce guide est composé d'une vingtaine de fiches réparties en 9 thématiques dont la cimentation des tubages.

Le projet au Lusitanien prendra en compte les recommandations faites par ce guide (fiche technique 024 : Architectures nouvelles des puits, fiche technique 033 : utilisation des tubages en matériau composite en géothermie profonde, fiche technique 041 : Modes de cimentation envisageables en cas de risques de fracturation, fiche technique 042 : Evaluation de durée d'attente de séchage des ciments, fiche technique 072 : Contrôle de cimentation soniques et ultrasoniques.

Le contrôle de la cimentation d'un tubage composite ne peut être réalisée par les méthodes classiques de type CBL pour des raisons techniques (vitesse de propagation d'une onde acoustique à travers le tubage composite est trop proche de la vitesse de propagation de l'onde dans l'eau). Le rechemisage des puits à Chevilly-Larue et L'Haÿ-les-Roses a permis la mise en place d'une nouvelle méthode d'interprétation des mesures de contrôle de cimentation acoustique (Cf. Tello et al, 2016²).

Les mesures réalisées sur les 4 puits rechemisés ont permis de valider la méthode et de mettre en évidence les différences d'adhérence du ciment au tubage et les défauts sur la paroi interne du tubage composite, d'estimer l'épaisseur du tubage et de fournir une estimation du centrage du tubage dans le trou.

Définition du risque de pollution de l'Albien-Néocomien dans le cadre d'un projet au Lusitanien :

D'un point de vue de la protection des aquifères de l'Albien-Néocomien, le forage au Lusitanien représente un danger de pollution potentielle (fluide minéralisé et salé). Le facteur favorisant la migration des fluides d'un niveau vers un autre est la différence de pression (naturelle ou provoquée) entre ces différents milieux.

Dans le rapport BRGM RP-66820-FR « Risques de pollution des nappes de l'Albien et du Néocomien par les forages profonds du bassin parisien », une analyse des risques majeurs pouvant atteindre les nappes de l'Albien et du Néocomien en lien avec la réalisation de forages profonds à proximité des champs captant a été réalisée. Ainsi, **3 types de scénarios** susceptibles de conduire à une pollution de ces nappes se sont dégagés de cette analyse. Ces scénarios ont été affinés et validés **lors d'un atelier d'experts** :

- **Scénarios de type 1** : ils s'appliquent aux puits de géothermie, d'hydrocarbures et de stockage de gaz. Ils consistent en une migration de fluides vers les nappes de l'Albien-Néocomien du fait de l'existence d'une voie de fuite à l'extrados d'un puits (annulaire, cimenté ou non).
- **Scénarios de type 2** : ils s'appliquent uniquement aux puits de géothermie. Ils consistent en une migration de fluides vers les nappes de l'Albien-Néocomien du fait de l'existence de perforations sur un puits en exploitation.
- **Scénarios de type 3** : ils concernent les puits de géothermie, d'hydrocarbures et de stockage de gaz. Ils consistent en une migration de fluides vers les nappes de l'Albien-Néocomien du fait d'une migration verticale à l'intérieur d'un puits qui n'est plus exploité conjuguée à l'existence de perforations sur ce puits

² Tello, L. N., Hesse, K., Pawlowski, M. K., Kozak, M. Z., Audouin, O., & Hirsinger, L. (2016, June 25). A New and Innovative High Frequency Ultrasonic Method for Evaluating Cement Bond and Casing Thickness in Wells with Fiberglass Casing Applied in the French Paris Basin. *Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts*.

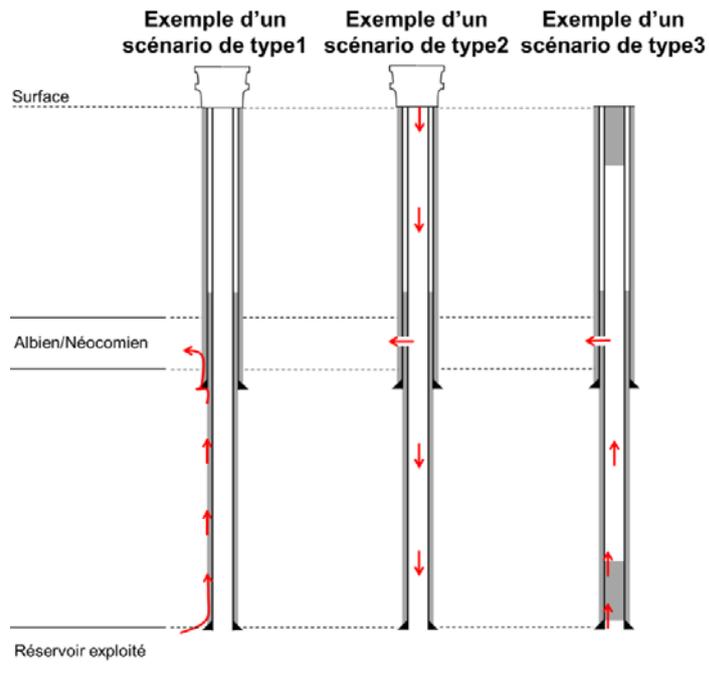


Figure 189 : Exemple de scénario de fuite pour chacun des types possibles

Dans ce rapport, une échelle qualitative de vraisemblance de 5 niveaux a été choisie, similaire à celle donnée en annexe I de l'arrêté du 29/09/2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation :

- A : « événement courant » : s'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation malgré d'éventuelles mesures correctives ;
- B : « événement probable » : s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation ;
- C : « événement improbable » : un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de probabilité ;
- D : « événement très improbable » : s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité ;
- E : « événement possible mais extrêmement peu probable » : n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installation.

Dans le cas de la géothermie profonde, les scénarios étudiés ont été classés comme suit :

Le scénario 1 a été classé comme E « événement possible mais extrêmement peu probable ». La cimentation des cuvelages est faite sur toute leur hauteur. Par conséquent, l'existence d'une voie de fuite continue (micro-annulaire ou channeling) entre un aquifère plus profond et les nappes de l'Albien et du Néocomien est peu vraisemblable. Néanmoins, un défaut de cimentation ne peut pas être exclu.

Le scénario 2 a été classé comme D « événement très improbable » à E « événement possible mais extrêmement peu probable ». Les migrations horizontales sont plus pertinentes pour les puits de géothermie que les migrations verticales discutées pour le scénario 1. Du fait de l'injection/production directement par le

cuvelage, les puits de géothermie sont plus sensibles aux problèmes de corrosion. Des problèmes (corrosion galvanique) peuvent notamment exister au niveau des DVs (mais ceux-ci ne sont pas mis au niveau de l'Albien-Néocomien). Les zones de dépôts (par ex. au niveau des déviations) peuvent également être propices à la corrosion (bactériologique notamment).

Le scénario 3 a été classé comme E « événement possible mais extrêmement peu probable ». Ce scénario semble moins vraisemblable que les scénarios 1 et 2 appliqués à la géothermie dans la mesure où il faudrait une combinaison entre une migration le long d'une cimentation défailante (espace annulaire cimenté entre deux cuvelages, ou bouchon de ciment), suivie de perforations (qui ont pu être initiées lors de l'exploitation). Néanmoins, il ne peut être éliminé.

Dans le cadre de ce même rapport, une modélisation numérique avait été réalisée afin de déterminer l'incidence d'une fuite selon les trois scénarios sur l'aquifère de l'Albien-Néocomien. Les résultats de la modélisation du panache d'eau salée issu du Dogger ont montré une étendue plus marquée au droit de l'aquifère de l'Albien principalement expliqué par son gradient d'écoulement naturel plus important (Cf. tableau suivant).

Type d'exploitation	Aquifère cible	Débit de fuite considéré (m ³ /an)	Panache d'eau salée		
			Distance 10 ans en m	Distance 25 ans en m	Distance 50 ans en m
Exploitation géothermale <i>Eau du Dogger</i>	Albien	1000	415	875	1570
	Neocomien	1260	65	110	160
Exploitation hydrocarbures <i>Eau du Trias</i>	Albien	820	685	1340	2255
	Neocomien	270	60	105	160

Tableau 43 : Résultats de l'estimation de l'extension des impacts chimiques de l'ion chlorure dans le cas d'une fuite d'eau salée issue du Dogger ou du Trias (BRGM RP-66820-FR)

Un extrait de la conclusion de ce rapport est retranscrit ci-dessous et permet de conclure sur la vulnérabilité de l'aquifère de l'Albien-Néocomien vis-à-vis d'une pollution d'eau salée venant d'un aquifère plus profond.

« Il est difficile, dans le cadre de cette étude générique, de juger de la significativité des extensions des panaches obtenus, qui dépendra, dans une situation concrète de pollution, des caractéristiques du site (proximité d'un captage par exemple, en prenant en compte la zone d'appel du captage). Néanmoins, les zones impactées semblent être de l'ordre de grandeur du kilomètre au maximum (2 km après 50 ans de fuite pour le pire des cas simulés) et ce, quels que soient les types d'impacts étudiés. Il est également intéressant de signaler qu'au regard des volumes fuyards estimés, l'extension des zones impactées dépend clairement des paramètres hydrodynamiques choisis, mais semble, dans la gamme des fuites qui ont été simulées, être moins influencée par les caractéristiques de la fuite, en particulier par le débit de fuite. »

Ainsi dans le cadre d'une fuite à l'Albien/Néocomien due à un percement des tubages (pire scénario), la portée de l'éventuelle pollution serait au maximum de 2 km autour du puits. Compte tenu d'une salinité moins importante au Lusitanien par rapport au Dogger et au Trias, le panache de la pollution d'eau salée serait nettement moins étendu dans le cas du projet de Chatenay-Malabry.

Isolation de l'Albien-Néocomien pendant le cycle de vie des ouvrages au Lusitanien

Toute une série de mesures est envisagée afin de permettre une bonne isolation des différentes couches géologiques et la protection de l'Albien-Néocomien tout au long du cycle de vie du puits au Lusitanien (de la conception jusqu'à sa fermeture définitive). Ces mesures sont résumées dans le tableau suivant.

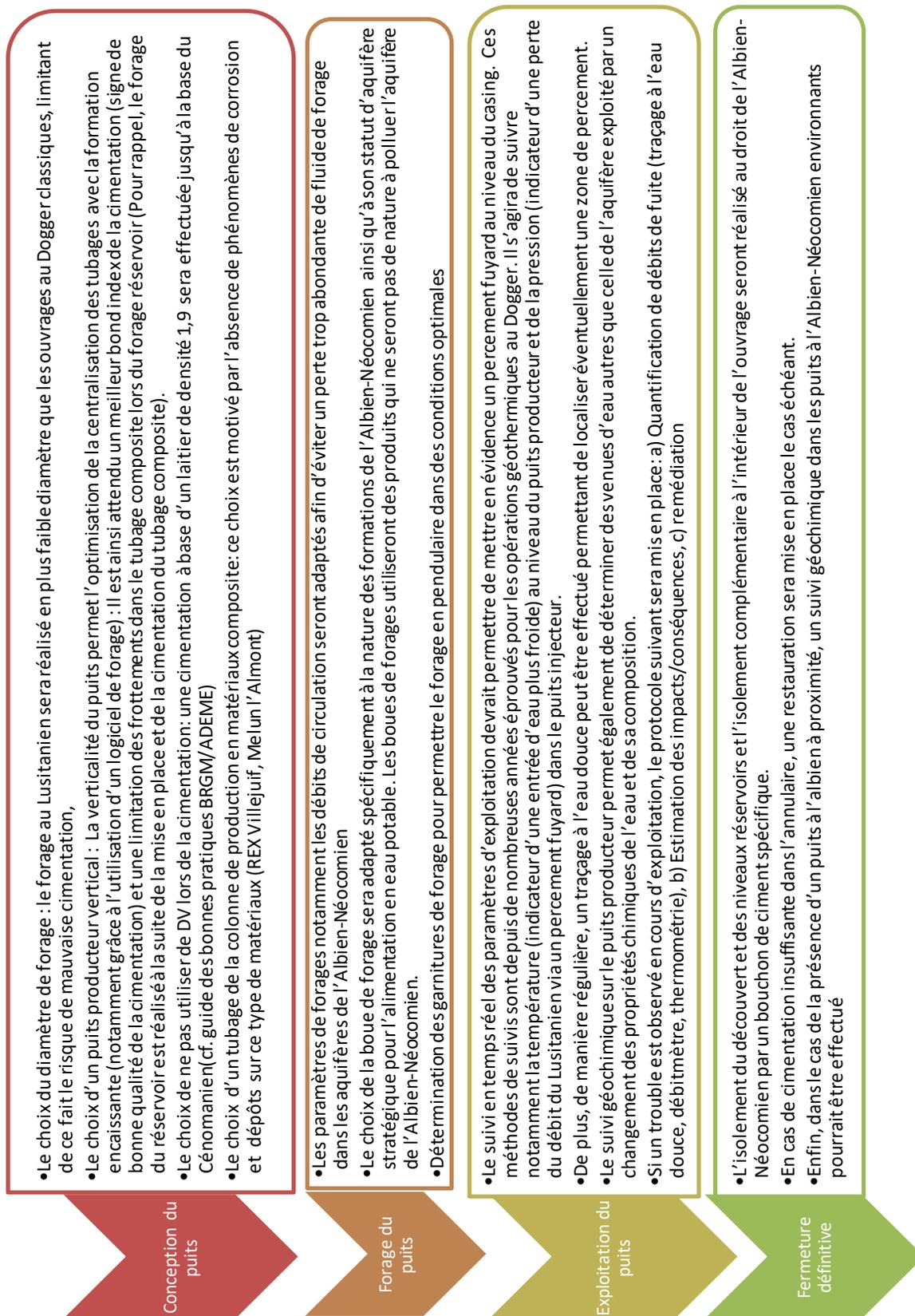


Figure 190 : Mesures pour la protection des aquifères sus-jacents du projet de doublet géothermique au Lusitanien

Conclusion

Dans le cadre du projet géothermique au Lusitanien de Chatenay-Malabry, la prise en compte de la protection des aquifères de l'Albien et du Néocomien fait partie inhérente du projet tout au long de son cycle de vie.

Des solutions techniques sont apportées afin de permettre l'adéquation entre ressources, besoins thermiques en surface et rentabilité économique du projet. Les trois grandes modifications majeures de la conception des ouvrages en comparaison d'un doublet classique acier (comme au Dogger) sont les suivantes :

- Les cas de mise en œuvre de la solution en matériau composite ont été réalisés dans le cadre d'opération de rechemisage (Chevilly-Larue/L'Hay-les-Roses) ou selon la méthode d'un liner non cimenté (Melun-L'Almont). Elle devrait permettre d'allonger significativement la durée de vie des ouvrages et de faciliter leur exploitation, en supprimant les problématiques liées aux dépôts et à la corrosion des tubages.
- Cette mise en place est facilitée par un choix d'architecture verticale qui induit des conditions favorables à une bonne conduite des opérations de cimentation (absence de doglegs notamment). De plus, cette architecture permet de forer le réservoir en réduisant le risque d'abimer le tubage composite par une meilleure centralisation des tiges de forage dans l'ouvrage.
- Enfin, une réduction des diamètres de forage qui permet :
 - o dans un premier temps, d'être en accord avec les besoins thermiques en surface (adéquation débit d'exhaure/rabattement dans le puits),
 - o dans un second temps, de réduire les risques liés au forage en gros diamètre (type doublet au Dogger classique),
 - o et dans un dernier temps, de réduire les coûts de forage (réduction des volumes cimentation, réduction de quantité de tubulaires, traitement des effluents, etc.).

En ce qui concerne la problématique liée à la présence d'un simple tubage à l'Albien-Néocomien, celle-ci est motivée par l'utilisation de matériaux composites dont la nature permet de ne pas envisager de perçement liée à la corrosion. Elle s'accompagne du choix d'architecture puits vertical et de plus faibles diamètres de forage permettant d'en assurer une meilleure cimentation et donc une meilleure isolation des aquifères traversés.

4.4.15.5 Incidence de l'exploitation sur les ressources en eaux souterraines et mesures destinées à en supprimer ou en atténuer l'impact

D'après les résultats des modélisations numériques de réservoir (Cf. paragraphe 2.6), les impacts hydrauliques du futur doublet au Lusitanien (également en cas de repli au Néocomien) pendant son exploitation sont limités à l'enveloppe du futur permis d'exploitation.

L'impact hydraulique du futur doublet au Lusitanien est négligeable (inférieur à ± 1 bar) au-delà d'une distance de 700 mètres autour des points d'impact au réservoir. Le projet exploratoire au Lusitanien, aujourd'hui isolé ne peut remettre en cause la pérennité des dispositifs voisins, ni du point de vue de la valorisation thermique ni du point de vue des rendements hydrauliques.

Pour un dispositif de repli au Néocomien, l'impact hydraulique négligeable de ± 1 bar intervient sur un rayon de 1 900 mètres environ autour des puits pour un débit d'exploitation maximal de 150 m³/h. Aucun impact thermique direct ni hydraulique n'est à envisager sur les puits existants du Plessis-Robinson ou d'Issy-les-Moulineaux. A noter qu'un système de rétrolavage du puits injecteur est envisagé dans le cadre du repli au Néocomien, il engendrerait un rejet d'eau du forage dans le réseau d'assainissement (eau usée) de l'ordre de 6000 m³/an.

Afin d'éviter ou de retarder la corrosion des tubages ou leur perçement, la mise en œuvre d'un traitement par inhibiteur de corrosion et d'anti-dépôt, dès la mise en service des installations, sera mis en place pour traiter

les installations de surface, la pompe d'exhaure immergée et l'espace annulaire entre les tubages acier et le liner composite projeté sur le puits injecteur.

Ce traitement permettra de diviser par un facteur 5 à 10 les vitesses de corrosion sur l'acier au carbone de la boucle géothermale. Cette injection est réalisée par l'intermédiaire d'un tubing continu dont le diffuseur sera placé au niveau du bas de la chambre de pompage du puits GCTM-3. Il est relié en surface à une station d'injection dont le fonctionnement est asservi au débit d'exploitation.

On se référera au paragraphe 4.5 pour le détail des mesures de prévention applicables dans le cadre de l'exploitation. Toutefois, 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. L'état des tubages est régulièrement surveillé au cours de l'exploitation par :

- les contrôles règlementaires des paramètres d'exploitation réalisés conformément aux prescriptions des arrêtés préfectoraux d'exploitation (auscultations diagnostic et suivi chimique) ;
- la réalisation des diagraphies des cuvelages tous les trois ans pour le puits d'injection et tous les cinq ans pour le puits de production.

Si lors du suivi ou au cours de travaux sur les ouvrages (work-over, manœuvre d'équipements), il existe un doute sur l'étanchéité du cuvelage, des investigations seront conduites visant à déterminer la localisation et l'intensité de la fuite.

4.4.15.6 Mesures destinées à supprimer ou à atténuer l'impact sur les eaux de surface

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 normale**, la circulation du fluide géothermal dans la boucle constituée par le puits de production, les canalisations de surface et les puits d'injection n'a aucun impact sur les eaux de surfaces ou les eaux souterraines.

Dans le cas d'interventions programmées, pour supprimer tout impact, des canalisations de collecte des effluents liquides seront prévues et décrites 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 le contrôle de l'artésianisme, celui-ci sera maîtrisé, lors des travaux, par la boue de forage, constituée d'un mélange d'eau et de bentonite (argile) (Cf. Paragraphe 3.1.4.5) relatif au programme de boue) ou, 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.

Les fluides de forage

Bien que potentiellement peu polluants, les fluides de forage (boue) qui serviront d'une part à la remontée des déblais solides et, d'autre part, au refroidissement et à la lubrification des équipements en rotation, feront l'objet de mesures de précautions particulières.

Lorsqu'elles ne seront plus utilisées, les boues subiront sur site un traitement physico-chimique par centrifugation et coagulation. Les phases liquide et solide seront séparées :

- la phase solide (déblais) sera évacuée par camion et traitée dans un centre de traitement agréé ;
- la phase liquide dirigée vers un bournier sera, soit mise en citerne puis envoyée dans un centre de traitement, soit évacuée dans le réseau d'assainissement (conformément à la réglementation en vigueur et aux termes de la convention de rejet qui en gèrera, le cas échéant, les modalités).

Gestion des eaux de ruissellement

Afin de limiter le risque de pollution par ruissellement ou par érosion, les stockages de produits, boue et hydrocarbures, susceptibles d'altérer la qualité des eaux superficielles, seront sécurisés par l'utilisation de bacs de rétention étanches correctement dimensionnées. Tous ces dispositifs de rétention seront vidangés régulièrement, la fréquence étant augmentée en période de fortes pluies. Cette prestation est à la charge de l'Entreprise de forage.

Lors de la réalisation du forage, l'emprise du chantier sera ceinturée par un dispositif (drains, caniveaux, merlon ou fossé périphérique ceinturant la semelle en béton de la plateforme de forage) qui collectera les eaux de ruissellement. La totalité de ces eaux sera dirigée vers le bassin de décantation via un déshuileur / débourbeur qui assurera la séparation des produits solides et huileux qui auraient pu fuir des organes moteurs de l'appareil de forage. Le compartiment recueillant le surnageant huileux sera pompé à chaque fois que nécessaire et le contenu sera dirigé vers un centre de destruction. L'eau de ruissellement séparée sera dirigée vers le réseau d'eau pluviale soit par déversement naturel (gravité) si le système de collecte des eaux de pluie le permet, soit par pompage à partir du déshuileur / débourbeur.

En cas de contamination des eaux pluviales, celles-ci seront dirigées vers le bournier recueillant la phase liquide provenant de la déshydratation des boues puis évacuées en centre de retraitement spécialisé.

Le bournier recueillant la phase liquide servira également à contenir tout déversement accidentel qui pourrait survenir hors des systèmes de rétention installés sous ou autour des produits liquides polluants.

Après le chantier de forage, le futur délégataire pourra conserver la plate-forme en enrobé et son système de caniveaux périphériques. Pendant l'exploitation du doublet, l'eau de ruissellement sera dirigée vers le réseau d'eau pluviale. A noter qu'un système de rétrolavage du puits injecteur est envisagé dans le cadre du repli au Néocomien ; il engendrerait un rejet d'eau du forage dans le réseau d'assainissement (eau pluviale) de l'ordre de 6000 m³/an. Le rejet en réseau d'assainissement est conditionné par l'obtention d'une convention de rejet avec le gestionnaire du réseau. Dans le cas contraire, l'eau serait redirigée vers le puits producteur après filtration.

4.5 Mesures compensatoires destinées à supprimer, atténuer ou compenser les effets négatifs

Le projet de géothermie prévu présente de nombreux atouts vis-à-vis de solutions alternatives, notamment sur le plan économique et sur le plan environnemental.

Pendant la période du chantier dont la durée est estimée à un an environ (préparation plate-forme, installation machine, forages, ripage et repli machine et remise en état) les travaux peuvent avoir un impact environnemental. En cours d'exploitation, le risque environnemental principal est le percement d'un tubage avec mise en communication des eaux du réservoir du Lusitanien avec des nappes plus superficielles.

Le maître d'ouvrage mettra en œuvre des mesures techniques et organisationnelles visant à réduire ou à supprimer l'impact des travaux au voisinage du site.

Les impacts potentiels, recensés au cours de cette étude d'impact, sont repris dans le tableau ci-dessous. Les mesures destinées à les supprimer ou à les atténuer sont décrites avec une estimation de leurs coûts en 2017.

Dans ce tableau, on distingue les mesures qui seront adoptées en cours de la réalisation du forage et celles qui accompagneront l'exploitation du doublet à l'issue des travaux. L'ensemble de ces coûts est compris dans les coûts travaux et exploitation cités dans le Chapitre 1.

Les mesures de réduction des impacts pendant les travaux de forage représentent un total estimé à environ **504 k€ HT**.

Les mesures de réduction des impacts en cours d'exploitation sont estimées à environ **91 k€ HT** par an, auxquels s'ajoute le coût relatif aux interventions d'entretien des puits réalisées tous les 5 à 10 ans (20 000 € HT par intervention, voir ci-dessous).

Mesures de réduction des impacts pendant les travaux de forages	Coûts indicatifs (en € HT)
A. Impacts sur les sols et les eaux de surface	
<p style="text-align: center;"><u>1/ Aménagement du site</u></p> <p>Mise en place d'une semelle en béton imperméable au niveau de la plate-forme de forage.</p> <p>Création de bassins de stockage temporaires des effluents avec bâche géotextile imperméable.</p> <p>Réseau de caniveaux pour collecte des eaux de pluies pouvant entraîner des polluants jusqu'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.</p> <p style="text-align: center;">Nettoyage et remise en état du site.</p>	<p style="text-align: center;">≈20 000</p> <p style="text-align: center;">≈3 700 (géotextile)</p> <p style="text-align: center;">≈35 000</p> <p style="text-align: center;">≈95 000</p>
<p style="text-align: center;"><u>2/ Stockage d'hydrocarbures et de boue - Stockage de produits divers</u></p> <p>Création d'une aire de stockage, avec bacs de rétention pour les produits inflammables ou potentiellement polluants, délimitée en lieu sûr, avec signalisation appropriée.</p> <p>Mise en place de bacs de rétention sous tous les contenants de liquides potentiellement polluants.</p> <p>Récupération et évacuation (par des organismes spécialisés) suivant filière réglementaire des carburants et huiles de vidange des moteurs. Contrôle de la qualité du traitement effectué pour vérifier la compatibilité avec les contraintes chimiques.</p> <p>Dépotage effectué selon les besoins du chantier dans le respect des normes de sécurité (sonde de trop-plein, raccords antistatiques et antidéflagrants, rétention...); vidange à fréquence régulière de tous les dispositifs de rétention d'hydrocarbures, fréquence augmentée en période de fortes pluies.</p> <p>Fluides de forage ("boues") élaborés à partir d'eau douce additionnée de bentonite (argile naturelle) et de polymères biodégradables (usage classique : boues à l'huile).</p> <p>Récupération des cuttings et effluents solides dans un corral dont l'étanchéité est assurée par un film polyane et coulage dallage en béton armé de 15 cm d'épaisseur.</p>	<p style="text-align: center;">≈25 000</p> <p style="text-align: center;">≈6 000</p> <p style="text-align: center;">≈3 500 (analyses)</p> <p>Exigence réglementaire</p> <p>Surcoût à la mise en œuvre compensé par une moins-value sur l'élimination</p> <p style="text-align: center;">≈15 000</p>
<p style="text-align: center;"><u>3/ Production d'eaux ou de gaz géothermaux</u></p> <p>a) Tête de puits équipée en permanence d'obturateurs de sécurité (BOP ou Bloc d'Obturation de Puits) permettant une fermeture d'urgence.</p> <p>b) Contrôle des volumes des bacs à boue en permanence et installation de détecteurs de gaz sur le circuit de boue à la sortie du puits pour identifier immédiatement toute émanation de gaz.</p>	<p style="text-align: center;">≈53 000</p> <p style="text-align: center;">≈32 000</p>

B. Impacts sur les eaux souterraines	
a. Par conception, les puits disposent d'un double, voire d'un triple cuvelage (au droit du tube guide) cimenté au droit des aquifères d'eau douce superficiels et plus profonds (aquifère multicouche de l'Albien Néocomien).	≈55 000
b. Mise en place de cuvelages dont l'épaisseur de paroi est supérieure à la norme (limitation du risque de percement).	≈30 000
c. Contrôle en continu des paramètres de la boue de forage pour limiter l'intrusion de boues de forage dans les aquifères traversés et ajustement de la rhéologie de la boue. Gestion en temps réel des volumes perdus et des venues d'eau.	≈11 000
d. Sursaturation de la boue en CaSO ₄ ou utilisation de boue type CaCO ₃ pour diminuer et contraindre la dissolution du gypse lors du forage.	≈20 000
C. Impact visuel du chantier de forage	
Clôture et balisage (grillage ou bardage périphérique de 2 m de hauteur).	≈35 000
D. Qualité de l'air	
a. Arrosage éventuel de la plate-forme de forage lors des périodes sèches pour limiter l'émission et la dispersion des poussières.	-
b. Contrôle continu de la concentration en H ₂ S dans l'air ambiant en 3 endroits de la plate-forme de forage (alarmes sonore et visuelle réglées sur 10 ppm) - Mise en place en un lieu visible de tous les points du chantier d'une manche à air. Information du personnel et des riverains au début des travaux des risques afférents à l'H ₂ S et à la conduite à tenir en cas d'éruption de vapeur d'eau ou d'H ₂ S.	≈18 000
E. Accès et desserte du site	
a) Information des usagers de la route par des panneaux routiers de chantier de la sortie d'engins de chantier au niveau des voies d'accès au chantier. Contrôle du stationnement des véhicules aux abords du chantier de manière à ne pas créer d'entrave à la circulation sur les voies d'accès.	≈10 000
b) Aire spécifique dans l'enceinte du chantier réservée à la manœuvre des véhicules leur permettant de faire demi-tour pour réemprunter l'accès sans entrave à la circulation.	≈16 000

Mesures de réduction des impacts pendant les travaux de forages	Coûts (en € HT)
F. Protection contre l'incendie	
Dotation en matériel destiné à la lutte contre l'incendie (matériel entretenu par une entreprise agréée ou par un agent spécialisé du Service Sécurité de l'Entrepreneur de forage) : extincteurs à poudre polyvalente, extincteurs à poudre de carbone, une couverture anti-feu.	Exigence réglementaire
G. Impact sonore	
a. Insonorisation, isolation des moteurs des groupes électrogènes et des moteurs sources de bruits (mise aux normes). b. Réalisation des opérations particulièrement bruyantes de préférence en journée. c. En cours d'exploitation, la limitation du bruit associé à la rotation de la pompe immergée est assurée par la mise en sous-sol de la tête de puits : création de caves de tête de puits fermées intégrées dans le paysage. d. Mise en place de bâches ou murs acoustiques (conformément aux exigences du PAE)	Critère de sélection de l'appareil Organisation sans surcoût ≈21 000
H. Impact visuel et sonore de l'installation	
a. Têtes de puits en sous-sol - Insertion paysagère des équipements. b. Mise en place d'éclairage compatible avec les chiroptères (conformément aux exigences du PAE)	Cf. G. c.

Mesures de réduction des impacts en cours d'exploitation	Coûts (en € HT)
I. Impact sur le sol	
<ul style="list-style-type: none"> a. Les caves de têtes de puits seront étanches ; les effluents liquides provenant des puits seront collectés et envoyés dans une bache de rétention puis réinjectés ou traités. b. L'aire de stockage du produit inhibiteur de corrosion sera dotée d'un bac de rétention susceptible de recevoir la totalité du volume de produit stocké. c. Lors des opérations de maintenance sur puits (réhabilitations) les déchets solides provenant d'interventions seront évacués du site vers une décharge contrôlée en fonction de la classe des déchets. d. A l'issue de chaque opération de maintenance sur puits, l'aire de chantier sera remise en état. 	<p style="text-align: center;">2 100 / an</p> <p style="text-align: center;">Présent sur site</p> <p style="text-align: center;">Selon importance des déblais</p> <p style="text-align: center;">En fonction de la nature des travaux réalisés</p>
J. Impact sur la qualité de l'air	
<ul style="list-style-type: none"> a. La totalité du fluide (eau + gaz) sera réinjectée dans le réservoir du Dogger via le deuxième puits dit de « réinjection » b. Quasi-totalité des interventions sur puits réalisées avec contrôle de l'artésianisme du puits (saumurage). Mise en place d'un dispositif d'obturation automatique du puits en cas d'urgence (A.3.a.). 	<p>Le concept de doublet engendre un impact positif qui se traduit par une quantité de CO₂ évité dans l'atmosphère (environ 2 028 t/an) par rapport à un réseau classique gaz.</p>
K. Protection des eaux de surface	

<p>Lors des interventions d'entretien des puits (tous les 5 à 10 ans) : collecte de la totalité des effluents liquides, refroidissement et traitement préalablement à leur déversement dans le réseau d'assainissement si leur composition chimique l'autorise (via une convention avec le concessionnaire).</p> <p>Obligation de rédaction d'un Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la santé (PPSPS) préalablement aux interventions.</p> <p>En cas de déversement accidentel (fuite) de fluide géothermal, eau géothermale confinée dans la cave et pompée à l'aide d'une pompe vide cave (présente à demeure) puis évacuée vers une bache de rétention ou à défaut vers le réseau d'assainissement dans le cadre de la convention précitée.</p> <p>En cas de fuite importante, acheminement d'un dispositif de pompage adapté sur le site dans un délai court (8 à 10 heures maximum). Réinjection de la totalité du débit de fuite dans les autres puits du doublet par la pompe mobilisée. Evacuation du fluide géothermal dans le réseau d'assainissement entre le moment où la fuite se manifeste et la prise en charge de la fuite à l'aide de moyens de pompage adaptés.</p>	<p>≈20 000 / intervention</p> <p>Exigence réglementaire</p> <p>L.a.</p> <p>5 500 /an</p>
<p>L. Protection des eaux souterraines</p>	
<p>a. Détection précoce des anomalies de fonctionnement des puits pouvant révéler une intrusion d'eau ou une fuite d'un des puits vers l'extérieur (relevé journalier des paramètres : pression de réinjection, pression d'exhaure, débit, température...)</p> <p>b. Contrôles périodiques, réalisation de mesures de grandeurs physiques, électriques, hydrodynamiques, géochimiques permettant de suivre et de contrôler l'évolution des caractéristiques des puits, du fluide géothermal et des équipements et diagnostic des anomalies symptomatiques d'une perte d'intégrité d'un ouvrage.</p> <p>c. Les contrôles d'intégrité des cuvelages par diagraphie à l'aide d'un outil multi-palpeurs constituent la seule mesure directe permettant d'accéder à un percement avéré ou imminent (tous les 3 ans sur le puits de réinjection, 5 ans sur le puits de production).</p> <p>d. Traitement des tubages contre la corrosion.</p>	<p>Contrôle interne</p> <p>≈ 40 000 /an</p> <p>≈ 12 000 /an</p> <p>≈ 31 500 /an</p>

ANALYSE DES EFFETS CUMULES DU PROJET AVEC D'AUTRES PROJETS CONNUS



5 ANALYSE DES EFFETS CUMULES DU PROJET AVEC D'AUTRES PROJETS CONNUS

5.1 Projets d'urbanisation sur la commune de Châtenay-Malabry

La ville de Châtenay-Malabry a initié plusieurs projets parallèles de renouvellement urbain à proximité du site de l'Ecole Centrale, liés à des opportunités foncières importantes : le projet de la faculté de Pharmacie et le projet de la zone d'activités Europe. Ces projets sont d'autant plus justifiés par la création prochaine du tramway Antony-Clamart (T10) le long de l'avenue de la Division Leclercq, qui viendra renforcer leur desserte en transports en commun de manière conséquente. Enfin, le projet intervenant en limite communale avec Antony, il interagira avec le projet d'aménagement du secteur Jean Zay.



Figure 191 : Projets d'urbanisation de la ville

5.1.1 Les orientations de la ville

Le Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) de la commune donne 3 grands axes stratégiques (déclinés en 8 orientations) que sont :

- Faire évoluer le schéma urbain
- Ambitionner un territoire vert
- Faire vivre la ville

La zone de projet est explicitement citée et prise en compte dans le cadre de la 3ème orientation du premier axe et la 1ère orientation du deuxième axe.

La troisième orientation est de « Recréer de nouveaux secteurs exemplaires après la délocalisation de l'Ecole Centrale de Paris et la Faculté de Pharmacie ». Les ambitions portées par le PADD du PLU, positionnent d'ailleurs le secteur de l'Ecole Centrale comme :

- Une opportunité pour élaborer un projet d'Ecoquartier axé sur le logement et les nouveaux équipements
- Un lieu qui garantisse une mixité des fonctions urbaines permettant de recréer de véritables lieux de vie
- Un espace en entrée de ville à mettre en valeur, bien desservir et à réintégrer dans la ville
- Un projet favorisant un impact minimal vis-à-vis de l'environnement et des ressources naturelles

Le projet de l'Ecole Centrale répond globalement à ces objectifs spécifiques portés sur cette zone. L'ensemble de ces orientations stratégiques sont globalement reprises dans le cadre du projet de l'Ecole Centrale (développement de logements performants énergétiquement, création d'un tissu commercial et de services ; création d'espaces publics ; valorisation des espaces verts et mise en réseau de la trame verte et bleue ; désenclavement par l'arrivée du tramway Antony-Clamart ; parti pris pour les mobilités douces).

Le projet d'aménagement de l'Ecole Centrale qui conduit principalement à la construction de logements, de bureaux et de commerces induira une densification de la zone, une minéralisation des sols.

La zone d'étude fait également l'objet d'une Orientation d'Aménagement et de Programmation (OAP) qui s'inscrit de manière pré-opérationnelle dans les grands objectifs du PLU sur le site tels que:

- Révéler les identités chatenaysiennes multiples ;
- Intégrer le nouvel écoquartier dans son environnement de la ville verte ;
- Désenclaver le site et favoriser les liens entre les quartiers existants ;
- Renforcer le statut d'entrée de ville avec l'arrivée du tramway ;
- Préserver les grands tracés et le grand paysage pour créer de nouvelles continuités écologiques ;
- Développer une nouvelle polarité de ville pour favoriser la rencontre, la mixité sociale et intergénérationnelle ;
- Affirmer une démarche durable à toutes les échelles.

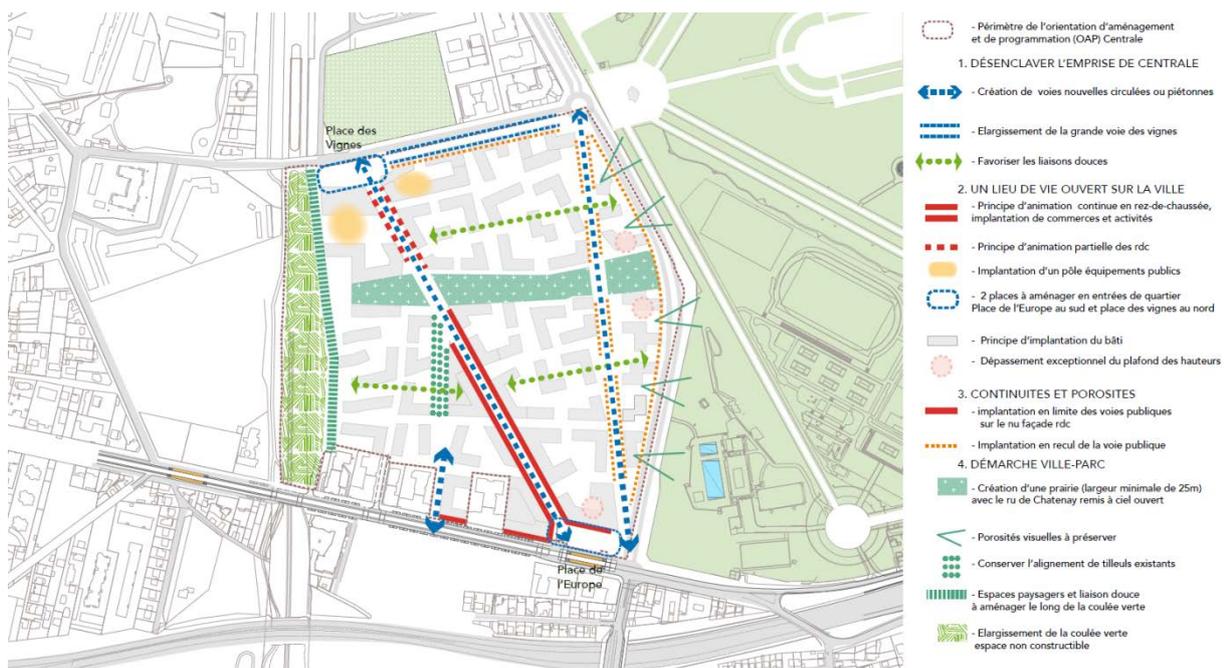


Figure 192: Localisation des OAP sectorielles du PLU

En février 2011, le STIF a finalisé le projet de Plan de Déplacements Urbains de la Région Ile-de-France (PDUIF) qui a été arrêté par le Conseil Régional d'Ile-de-France (février 2012) et approuvé définitivement le 19 juin 2014. Le PDUIF a pour objectif de définir des principes d'organisation pour les différentes modalités de déplacements (transports collectifs, voitures particulières, etc.), tant en matière de circulation que de stationnement.

Il vise à atteindre un équilibre durable entre les besoins de mobilité des personnes et des biens, d'une part, la protection de l'environnement et de la santé et la préservation de la qualité de vie, d'autre part, le tout sous la contrainte des capacités de financement.

Le PDUIF identifie 9 défis à relever déclinés en 34 actions opérationnelles pour atteindre cet équilibre. Engagé dans une démarche de développement durable, il fixe également trois grandes orientations dans le cadre de l'atteinte de l'objectif national d'une baisse de 20% des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2020 :

- une augmentation de 20 % des déplacements en transports en commun ;
- une augmentation de 10 % des déplacements en modes doux (marche et vélo) ;
- une baisse de 2 % des déplacements en voiture et deux-roues motorisés.

Le projet d'aménagement du secteur de l'Ecole centrale intègre les différentes visées du PDUIF dans ses aménagements (Cf. paragraphe suivant).

5.1.2 La ZAC La Vallée

La libération du site de l'Ecole Centrale suite au déménagement du campus est l'un des enjeux majeurs pour le devenir du territoire communal Châtenaysien.

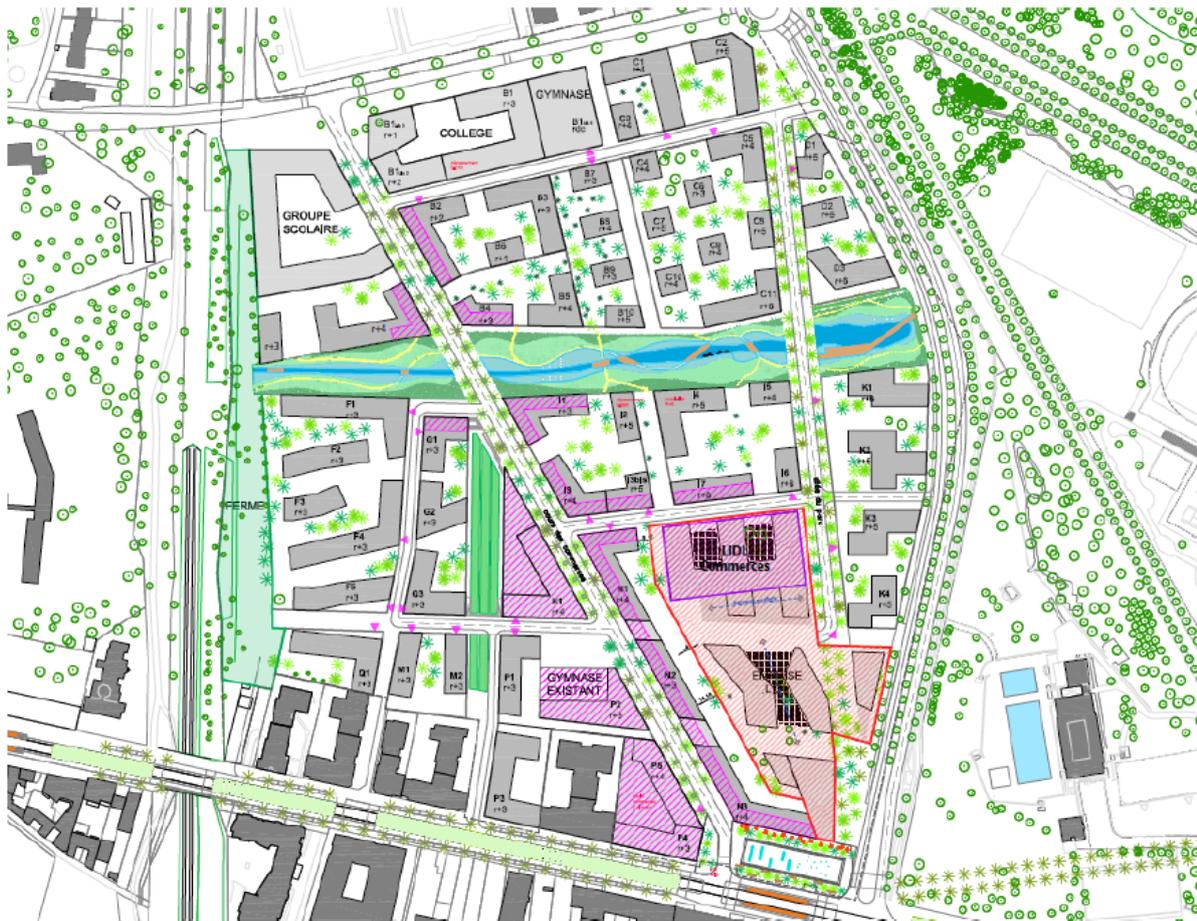
Un protocole d'accord entre la Ville et l'État, relatif au devenir des terrains de l'École Centrale Paris, a été signé le 6 avril 2012. Un avenant complétant cette convention a été signé le 14 mai 2012, dans lequel a été défini un préprogramme de constructions d'environ 200 000 m² de surface de plancher décliné globalement de la manière suivante :

- 120 000 m² de logements en accession libre,
- 24 000 m² de logements sociaux,
- 15 000 m² de commerces et services,
- 40 000 m² de bureaux,
- 14 000 m² d'équipements publics.

La collectivité a souhaité donner à cette opération l'ambition de devenir un éco quartier à vocation principalement résidentielle, respectueux de son environnement. Les principes fondateurs du projet architectural retenu (Equipe François Leclercq) sont les suivants :

- Une prairie centrale structurant le réseau d'espaces verts, reliant fonctionnellement le Parc de Sceaux et la coulée verte du sud parisien. Elle repose particulièrement sur la création d'un fil d'eau permanent le long du tracé du ru de Chatenay.
- La création de deux nouvelles voies internes de circulation : le cours du commerce et la voie du parc, puis de voies internes secondaires et d'un réseau de cheminements doux.
- Des places publiques : place de l'Europe en lien avec la future station de tramway Antony-Clamart, place de la Coulée Verte en lien avec celle-ci, et une dernière place au niveau de l'entrée principale du Parc de Sceaux.

- Un pôle d'équipements publics autour de la place de la coulée verte, un pôle de bureaux à proximité du futur tramway, et enfin un axe commercial le long du Cours du Commerce.



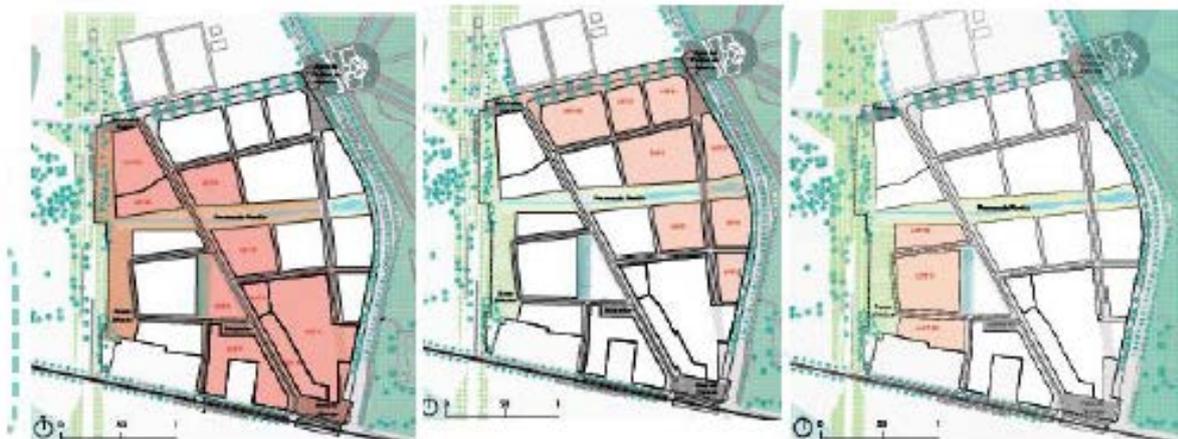
Source : François Leclercq

Figure 193 : Plan de masse de la ZAC projetée

Les travaux s'étaleront sur 3 phases (Voir image ci-parès):

- Phase 1 : initialement prévu sur 2021-2022 et actuellement planifié sur 2022-2023 – 715 logements (46 450m² de SDP) / 35 000m² de bureaux/ 16 289m² de commerces/ le groupe scolaire de 22 classes, crèche et tiers lieu,
- Phase 2 : 2023-2025 – 1 189 logements (77 261m² de SDP) / 949m² de commerces/ le collège (capacité de 700 élèves) et le gymnase,
- Phase 3 : 2026. – 391 logements (25 414m² de SDP).

Les travaux de forage géothermique prévus au deuxième semestre 2020 interféreront seulement avec les travaux de VRD et de construction de la future chaufferie centralisée de la ZAC située dans le lot F.



Découpage des phases de travaux : Phase 1 (gauche) Phase 2 (centre), Phase 3 (droite) – Source : SEMOP

5.1.3 La Coulée Verte

Le quartier de la ZAC La Vallée est délimité naturellement par deux espaces verts majeurs : le Parc de Sceaux et la Coulée verte. Dessiné par André Le Nôtre, le parc offre 181 hectares d'espaces verts, lieu unique en Île-de-France dans la plus pure tradition des jardins à la française. La Coulée verte, espace de promenade et de cyclisme permet de rejoindre Paris en vélo (12 km).

Le Schéma Directeur Régional d'Île-de-France (SDRIF) 2030 prévoit des objectifs spécifiques pour Châtenay-Malabry en matière de mise en valeur du paysage ainsi que le Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE) d'Île-de-France, volet régional de la Trame Verte et Bleue, approuvé par le conseil régional d'Île-de-France le 26 septembre 2013 et adopté le 21 octobre 2013.

De manière générale, il fixe comme grands objectifs pour les espaces naturels :

- Protéger et valoriser les espaces naturels et mieux faire connaître les services écosystémiques qu'ils rendent à la ville et aux habitants ;
- Valoriser les grands paysages d'Île-de-France, notamment les reliefs (buttes, coteaux) qui seront aménagés pour préserver et valoriser ces belvédères naturels qui offrent une vue sur la région ;
- Considérer la nature en ville comme un « partenaire » de développement et non une variable d'ajustement de l'extension urbaine ;
- Favoriser le développement de jardins partagés et familiaux ;
- Faire entrer la nature en ville (« Favoriser la présence d'espaces ouverts urbains: espaces verts et boisés publics mais aussi jardins, coeur d'îlots... »).

Le schéma du SRCE prend en compte les orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques ainsi que les éléments pertinents des schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau. Il identifie la Trame verte et bleue, spatialise et hiérarchise les enjeux de continuités écologiques à l'échelle régionale, et il propose un cadre d'intervention.

Il identifie à Châtenay-Malabry et aux abords du site d'études (Cf. Figure suivante):

- La forêt de Verrières et le parc des Sceaux sont comme réservoirs de biodiversité ;
- Le parc de la Vallée aux Loups, une partie de la forêt de Verrières et
- Des espaces verts autour du site d'études comme secteurs d'intérêt écologique notamment le Parc des Alisiers de l'autre côté de l'A86;

- Un corridor écologique dans la forêt de Verrières, tandis que la coulée verte du sud parisien est notée comme une liaison reconnue pour son intérêt écologique.

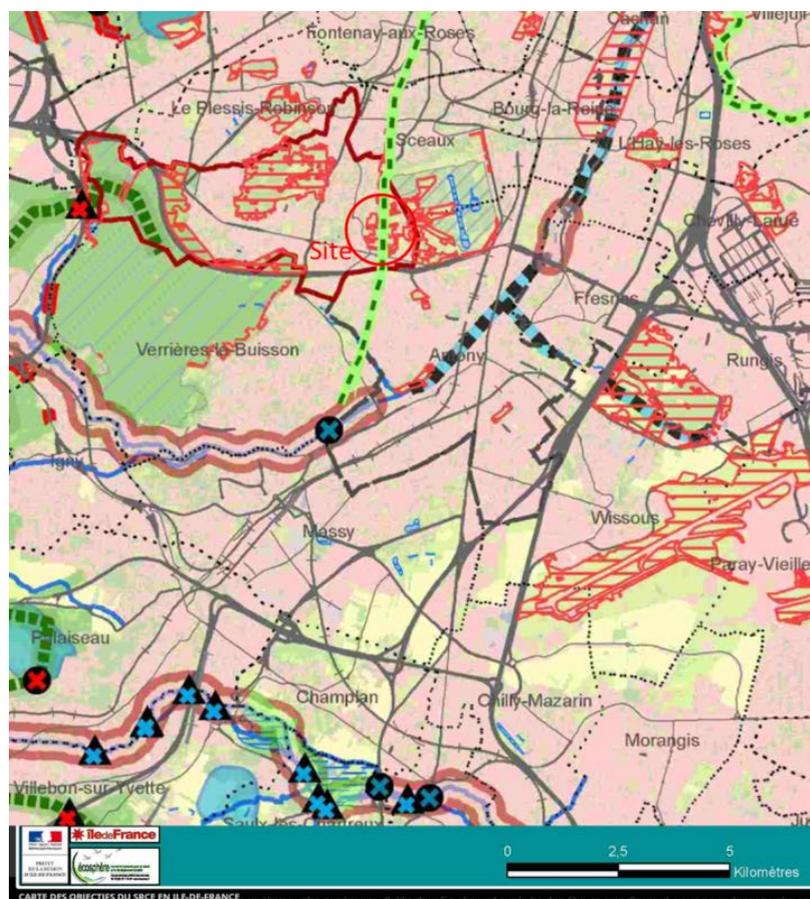


Figure 194 : Objectifs du SRCE Ile de France

Pour autant, le site présente des atouts naturels majeurs, d'intérêt écologique (réservoir de biodiversité du parc de Sceaux, intérêt écologique de la Coulée Verte, continuité de la sous-trame arborée, zones d'espaces verts arborés,...) : les aménagements prévus dans le projet permettront de consolider cette identité de Ville Parc.

En effet, les aménagements tels que la création d'une prairie centrale végétalisée entre le Parc de Sceaux et la Coulée Verte, la construction en pleine terre et l'intégration de la végétation en ville, l'utilisation de matériaux perméables, la création d'un fil d'eau permanent, la création de fonctionnalités écologiques sur les espaces publics, viendront finalement minimiser l'urbanisation et la minéralisation du site et renforcer les intentions du SRCE.

Le projet d'aménagement de la ZAC retenu préconise également la plantation en pied d'immeuble est préconisée dans ce but. Ils seront soit destinés à des jardins privés, une bande plantée inaccessible, ou une noue de récupération des eaux pluviales de la parcelle. Il sera privilégié la délimitation des parcelles par des haies végétales ou bien des clôtures intégrant des plantes grimpantes.

L'un des éléments structurants du projet est la constitution d'une promenade plantée centrale (Cf. Figure suivante), qui représentera l'espace public marquant en cœur de projet. Cet espace sera le garant d'une connexion avec la coulée verte du sud parisien et le parc de Sceaux, et concentrera plusieurs fonctionnalités : paysagères, écologiques, sociales...



Figure 195 : Projection de la promenade plantée et zone de compensation de la ZAC

5.1.4 La ligne 10 du tramway

Le projet majeur qui affectera la situation de desserte de la commune et du site par les transports en commun est celui du tramway de la future ligne 10 Antony-Clamart, La Croix-de-Berny (Antony)- Place de Garde (Clamart), dont la mise en service est prévue pour 2023 (Cf. Figure ci-après).

Le nouveau tramway traversera Châtenay-Malabry par la RD 986 et passera directement au sud de la ZAC sur l'avenue de la Division Leclerc. Ce projet permettra la desserte des principales zones résidentielles et économiques et de nombreux équipements à proximité de la ligne. Il permettra également la connexion avec une offre relativement importante de transports en commun sur les quatre communes traversées : Clamart, Le Plessis-Robinson, Châtenay-Malabry et Antony.

L'arrivée du tramway, et la création d'une station au niveau de la place de l'Europe contribuera largement à la promotion des modes alternatifs à la voiture. Le réseau de cheminements doux prévus sur le site de l'Ecole Centrale ayant de plus été conçu de manière à favoriser une intermodalité optimale avec cette nouvelle ligne de transports en commun, les effets conjoints de ces deux projets pourront atteindre une meilleure ampleur.

La requalification de l'avenue de la Division Leclerc associée au projet de tramway permettra d'agir sur la qualité paysagère de cet axe par les revêtements, plantations, ...en cohérence avec le nouveau front bâti qui sera créé à l'issue de la construction des bâtiments sur l'Ecole Centrale.

En phase de travaux, le projet de tramway entraînera une perturbation des circulations, des émissions de polluants et des nuisances sonores liées à la circulation de camions.

De plus, le phasage des deux projets est parallèle, ces gênes seront donc conjointes et pourront bloquer la circulation le long de la départementale.

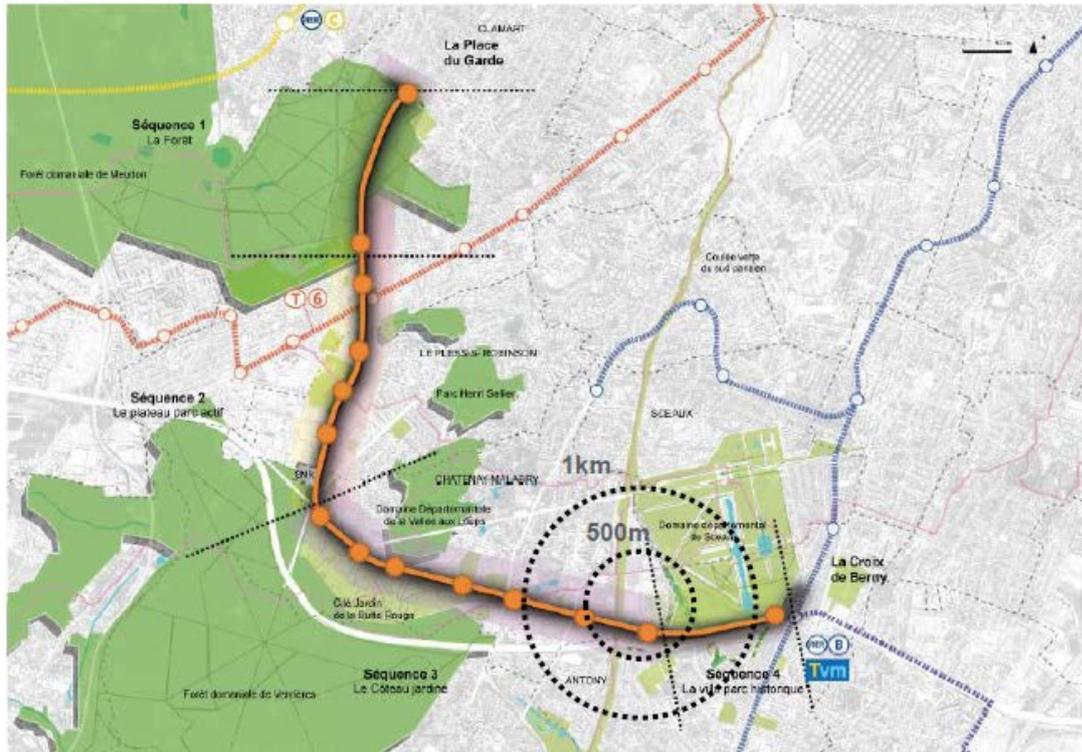


Figure 196 : Tracé et accessibilité aux transports en communs depuis la ZAC

5.1.5 Le quartier Europe

L'opération d'aménagement de la Zone d'Activités Economiques « Europe », située le long de l'avenue de la Division Leclerc, en face du site de l'Ecole Centrale, répond à deux objectifs:

- un objectif de développement économique, sur une commune très résidentielle.
- un objectif de requalification urbaine le long de la Route Départementale 986.

Le projet de ZA Europe, livré courant 2018, va favoriser l'accueil de PME / PMI, voire de TPE, si possible locales, en constituant une offre en locaux mixtes, destinés à la production, le stockage, l'exposition, et bureaux.

Le site regroupait des activités et des maisons individuelles qui ont été démolies pour le développement d'un programme d'environ 12 000 m² d'activités répartis avec : 540 m² de bureaux en 3 bâtiments R+2/3, 2 660 m² de commerces dont une moyenne surface alimentaire, un hôtel 3* de 127 chambres et 936 m² de bureaux et d'activités.

Le réaménagement du secteur contribuera de manière conjointe au projet de la ZAC. Les bâtiments aujourd'hui d'architectures, d'alignement, de hauteurs hétérogènes seront supprimés, au profit d'une opération de construction plus harmonieuse. L'accueil de nouvelles activités aura un effet positif sur la dynamisation économique de la commune, en complémentarité avec l'axe commercial et les bureaux prévus sur le cours du commerce et la place de l'Europe pour le projet de l'Ecole Centrale. La création d'une zone d'emploi à proximité immédiate d'un projet à dominante résidentielle va dans le sens de la création d'une ville des « courtes distances », ou la proximité des lieux de vie favorise les déplacements non motorisés et donc la qualité du cadre de vie, la prise en compte de l'enjeu de santé urbaine.

L'installation de nouvelles activités pourra entraîner de nouveaux flux routiers pendulaires, notamment le long de la RD986. Ces flux pourraient engendrer des congestions, nuisances sonores ou émissions de polluants, suite à l'arrivée des nouveaux habitants dans le secteur.

Malgré le maintien d'espaces de talus en pleine terre, le projet accroîtra l'imperméabilisation du site (qui comportait des fonds de parcelle inoccupés), comme cela est aussi le cas pour l'Ecole Centrale. Des dispositifs de gestion alternatifs des eaux pluviales ont été prévus de manière à éviter tout risque de pollution des nappes par ruissellement ou d'inondation.



Figure 197 : Principe d'aménagement de la ZA Europe (Watel-Dominique Hertenberger)

5.1.6 Le quartier Business Parc

Le déménagement de la Faculté de Pharmacie prévu pour 2021 va libérer un foncier attractif, qui offre la possibilité au Syndicat Mixte de Chatenay-Malabry de lancer un projet urbain en adéquation avec les objectifs de la ville en réalisant un Business Parc d'environ 120 000 m². Le projet d'aménagement du Business Parc s'inscrit dans la logique d'un éco quartier à vocation tertiaire. La programmation prévisionnelle prévoit :

- 120 000 m² de bureaux ;
- 7 300 m² de commerces et de services ;
- 800 m² de salle polyvalente
- Ainsi qu'un programme d'agriculture urbaine organisé autour de serres, de parcelles agricoles et d'un parc central.

Les dossiers de création de la ZAC et d'étude d'impact ont été mis à disposition du public en 2016.



Plan masse du projet – Source : SEURA

Figure 198 : Projet du Business Parc

La réalisation du projet de la Faculté de Pharmacie, également en bordure de l'avenue de la Division Leclerc contribuera à conforter la qualité globale du cadre de vie sur la commune. La création de bureaux, commerces et services contribuera à la dynamisation économique du territoire communal. Ce projet à dominante d'activités viendra compléter l'offre prévue pour l'Ecole Centrale, à dominante résidentielle et commerces de proximité, afin de garantir une diversité des activités implantées sur le territoire et une mixité fonctionnelle.

La requalification et la création de voirie prévue, accompagnée de voies modes doux, facilitera les déplacements en intermodalité avec l'arrivée du tramway. Le déploiement cohérent d'un maillage complet de modes doux autour de l'avenue de la Division Leclerc ira dans le sens d'un meilleur impact en faveur de la pratique de la marche et du vélo.

La création d'un parc central, en continuité avec la forêt de Verrières, agira en faveur de la facilitation de la circulation des espèces, notamment avifaune, sur le secteur. Ce principe est similaire à celui de la promenade végétalisée et de la ferme urbaine prévue pour la ZAC.

Le traitement paysager du site de la Faculté Pharmacie, de manière à valoriser l'entrée de ville par l'avenue de la Division Leclercq, aura un impact positif conjoint à celui du projet de l'Ecole Centrale, dans le sens de la requalification paysagère en boulevard urbain.

La création d'un nouveau secteur d'emplois et de services attractif impliquera une augmentation des flux vers le secteur, et aussi le long de l'avenue de la Division Leclercq, qui sera également emprunté par les 4 500 nouveaux habitants de la ZAC La Vallée. Ces flux pourront avoir un effet négatif en termes de nuisances, de qualité de l'air et de congestions du trafic.

L'imperméabilisation de nouvelles surfaces induit par le projet de la Faculté Pharmacie s'additionnera à celle prévu sur le site de l'Ecole Centrale, et contribuera à la réduction globale de la perméabilité des sols sur la commune. Les modalités de gestion des eaux pluviales ont été adaptées sur les deux sites de manière à prévenir tout risque d'inondation par ruissellement ou remontées de nappes.

En phase de travaux, le projet de la Faculté Pharmacie entraînera lui aussi une perturbation des circulations, des émissions de polluants et des nuisances sonores liées à la circulation de camions. Toutefois, ce projet étant prévu sur une échéance plus longue que celui de la ZAC, une cohabitation des deux chantiers ne surviendrait que sur les dernières phases du projet de réaménagement de l'Ecole Centrale.

Le projet impliquera 100 000 m³ de déblais pour la création de parkings souterrains, dont 40% ne pourront pas être réutilisés directement sur site. Une partie de ces 40 000 m³ pourrait être mobilisée pour les besoins de remblais sur la ZAC, uniquement sur les dernières phases de travaux étant donné le décalage dans les calendriers d'exécution des deux projets.

5.1.7 La ZAC Jean Zay

La création de la Zone d'Aménagement Concerté du secteur Jean Zay est située sur la commune d'Antony (92)

Le projet s'inscrit dans une démarche de développement durable et souhaite valoriser les axes doux et conforter la trame verte définie par la ville. Cet espace sera intégré à son environnement urbain par la création de liaisons et des convergences et la présence de transports en commun existants (RER, bus, Paladin) et projetés (tramway Antony-Clamart).

Exclusivement constituée de résidences universitaires, la nouvelle programmation prévoit de mêler des logements étudiants neufs avec une nouvelle offre de logements classiques, du locatif social, des programmations à vocation commerciales, des équipements publics et de nouveaux espaces publics autour de 2 centralités :

- Le Grand mail, à proximité du RER, articule des commerces, l'équipement public évoqué, le bâtiment de bureau (où sont intégrés la sous-préfecture et le commissariat), les logements étudiants et les nouveaux programmes de logement en mixité.
- La place, au cœur du quartier, entourée par des logements étudiants, des logements classiques, des surfaces commerciales ou des services. Un parking public est aménagé sous la place.



Plan masse du projet– Source : Etude d'Impact Jean Zay (Ville d'Antony)

Figure 199 : Projet Jean Zay d'Antony

La création du projet du secteur Jean Zay, en bordure de l'autoroute A86 modifiera la qualité globale du paysage. Les espaces publics créés, les liaisons urbaines et paysagères permettant de relier ce secteur au reste de la ville et au parc de Sceaux permettront de répondre à une qualité paysagère et architecturale optimale de qualité.

La création logements, commerces, services et équipements publics contribuera à la dynamisation économique de ce secteur sur la commune d'Antony mais profitera également au secteur. Ce projet permettra de diversifier les activités implantées dans l'objectif de proposer une bonne mixité fonctionnelle.

L'implantation de nouveaux logements, la diversification de l'offre commerciale et de service, et la création de parking souterrains induira des circulations supplémentaires sur le secteur Jean Zay mais également de nouveaux flux le long des axes routiers principaux, notamment l'autoroute A86. Les nouveaux flux pourront avoir un effet négatif en termes de nuisance, qualité de l'air et de congestions.

L'imperméabilisation de nouvelles surfaces induit par le projet du secteur Jean Zay par la construction de nouveaux logements, de commerces et de services contribuera à la réduction globale de la perméabilité des sols dans ce grand secteur.

Dans le cadre du projet Jean Zay, les accessibilités piétonnes et vélos seront développées, offrant de multiples itinéraires, convergeant vers les transports en commun lourds existants (RER B) et projetés (tramway). Cette stratégie est également mise en place sur la zone de la ZAC La Vallée et du Business Parc.

5.2 Les mesures à prendre

De manière générale et compte tenu de la densification des projets d'urbanisme dans le secteur d'étude en vue d'une dynamisation du secteur d'étude, les mesures à prendre pour éviter ou atténuer les effets négatifs des projets entre eux seraient :

- La création de cheminements doux sur des voies nouvelles ou requalifiées, en intermodalité avec le futur tramway, tendra à réduire l'usage des véhicules particulier et éviter les nuisances sur l'avenue de la Division Leclerc.
- Une gestion alternative des eaux pluviales (par infiltration, rétention) est prévue dans le cadre du projet afin de limiter les risques d'inondation par ruissellement ou remontées de nappes.
- La circulation des engins de chantier et autres véhicules lourds pourra être interdite sur les voies de desserte du site durant les heures de pointe afin de limiter la saturation de ces axes, on pourra également limiter les circulations des engins à des horaires prédéfinis (entrée/sortie des écoles, marché...)
- Mise en place d'un plan globale de circulation des Poids Lourds et d'itinéraires de déviation
- Une communication sera réalisée auprès des riverains afin de les informer des modifications d'itinéraires piétons ou véhicules (affiches...).

Particulièrement pour la phase du chantier de forage, prévue au deuxième semestre 2020 et avant la finalisation des premières constructions de la ZAC en 2022, des mesures destinées à atténuer l'impact du projet de géothermie peuvent être engagées par le maître d'ouvrage et le futur maître d'œuvre, qui veilleront à organiser les travaux de façon à perturber le moins possible la circulation.

Le chantier du doublet géothermique sera réalisé dans l'emprise de la ZAC, emprise qui est fermée, avec des accès véhicule légers et poids lourds bien délimités. De nombreux travaux de voirie, terrassement, gros œuvre et second œuvre sont prévus sur les différents lots composant l'Aménagement dans un calendrier similaire à la réalisation du doublet géothermique. Le chantier du doublet géothermique sera donc inscrit dans le chantier plus général de l'Aménagement notamment concernant les mesures visant à réglementer la circulation aux abords du chantier seront prises afin d'assurer la sécurité des usagers et d'éviter la gêne des véhicules liés au chantier. La circulation habituelle sera donc organisée en fonction des phases du chantier, ce qui permettra de réduire les risques d'accident.

Il est à noter que le trafic engendré par l'activité sur les chantiers sera différent selon les phases de travaux (tubage, forage, cimentation etc.). Il est possible de considérer une circulation moyenne de 4 camions par jours au cours des 90 jours de chantier de forage. Les phases d'installation et de repli du chantier, de livraison des tubages, d'évacuation des déblais, de tubage des puits, de cimentation et de diagraphie des puits auront une circulation moyenne de 7 camions par jours.

Les nuisances indirectes seront liées, à plus grande distance, au trafic engendré par le chantier et le va-et-vient de camions pour l'apport de matériaux en particulier.

Pour limiter l'impact du trafic, des prestations de propreté (nettoyage des véhicules et de la voirie) ainsi que la protection et la réhabilitation des accès seront envisagées.

DOCUMENT DE SECURITE ET DE SANTE



6 DOCUMENT DE SECURITE ET SANTE

Le maître d'ouvrage élaborera un Plan Global de Coordination (PGC) pour la période des travaux, puis un Plan de Prévention (PP) spécifique à la phase d'exploitation. Ces documents fixeront les principes et l'organisation relative à la sécurité et à la santé conformément au Code Minier, au Code du Travail, au Code de l'Environnement. Le maître d'ouvrage prendra toutes les dispositions nécessaires pour organiser la mission de coordination de la sécurité et de la santé sur le site.

Chacune des entreprises intervenantes constituera un Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS) en accord avec le PGC pendant la phase de travaux. En phase d'exploitation, l'intervention d'une seule entreprise sera soumise à un PP sous la responsabilité du chef de site.

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 maître d'œuvre vérifiera l'existence de ces documents et le maître d'ouvrage ou son ayant droit veillera à leur application.

Un exemplaire du Plan de prévention sera communiqué avant le début des travaux aux administrations concernées.

6.1 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'exploitant³ doit 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. ».

6.1.1 Sécurité du public

Préalablement aux travaux, Flowergy Chatenay-Malabry mettra en place des actions d'informations destinées au public et aux riverains. Une réunion publique d'information sur le projet pourra être 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 des travaux, le public pourra être exposé à des risques liés principalement :

³ Est réputé exploitant, au sens de l'article 26 du chapitre II du 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, le titulaire ou l'un des cotitulaires, nommément désigné, d'un titre minier ou d'un titre de stockage souterrain ou, en l'absence d'un tel titre, la personne qui entreprend les travaux ou utilise les installations mentionnées à l'article 25 de ce décret.

- à une augmentation du trafic routier plus particulièrement due aux véhicules lourds accédant au chantier ; cette augmentation du trafic spécifique au chantier du doublet géothermique est partiellement fondue dans le trafic routier spécifiques à toutes les activités de l'Aménagement.
- à une augmentation du niveau sonore liée 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, ce dernier risque étant limité, dans la mesure où les zones incriminées par le puits producteur et le puits injecteur disposent actuellement de peu de réseaux ; les réseaux définitifs nécessaires à l'Aménagement seront positionnés ultérieurement au forage des puits géothermiques.

Les mesures prises pour prévenir ces risques sont résumées ci-après.

6.1.1.1 Accès au site

Accès des personnes non autorisées

Au-delà des mesures spécifiques au chantier de forage, le chantier de l'Aménagement est clos et les accès en nombre limités sont surveillés. Le chantier de géothermie interdit au public, avec des panneaux le signalant, sera balisé et clos (grillage ou bardage périphérique de 2 mètres de hauteur). L'entrée du chantier sera équipée d'un portail disposant d'un système de fermeture agrée. Le chantier sera fermé à clef avant l'arrivée du matériel, après son départ et lors des interruptions de travaux.

Cependant, compte tenu du fonctionnement continu du chantier, de son positionnement au sein de l'Aménagement qui constitue lui-même un chantier clos et de la présence permanente de personnels et de superviseurs, le risque d'intrusion sera minime.

Sécurité des visiteurs autorisés

Un parking visiteur pourra être créé à l'extérieur de la plateforme 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.

6.1.1.2 Circulation des véhicules

Accès au chantier

Des panneaux routiers temporaires de chantier informeront les usagers des voies de circulation de la sortie d'engins de chantier. Etant donné la proximité du site avec des habitations, des limitations de vitesse (30 km/h) ou des ralentisseurs devront également être installés aux alentours du chantier.

Le stationnement des véhicules aux abords du chantier sera contrôlé pour ne pas entraver la circulation sur les voies d'accès.

Un contrôle de résistance à la charge à l'essieu du chemin d'accès sera effectué par l'entreprise de forage, avant l'amenée de l'appareil de forage. Des aménagements pourront y être réalisés au moment des travaux de génie civil de la plateforme.

Le raccordement du site à la voie de circulation sera aménagé pour que les conducteurs d'engins puissent manœuvrer sans gêne pour la circulation ou constituer un risque.

Importance du trafic en relation avec les travaux

L'amenée et le repli de l'appareil de forage s'effectueront par convois exceptionnels.

En dehors de ces phases, il est à noter que le trafic engendré par l'activité sur le chantier sera différent selon les phases de travaux (tubage, cimentation etc.). Il est possible de considérer une circulation moyenne de 4 camions par jours au cours des 60 jours environ de chantier. Les phases d'installation et de repli du chantier, de livraison des tubages, d'évacuation des déblais, de tubage des puits, de cimentation et de diaggraphie des puits auront une circulation moyenne de 7 camions par jours.

Pour ce qui concerne la circulation des véhicules sur la plate-forme, à l'exception des autorités administratives compétentes et des forces de police, l'accès du chantier au public sera réglementé et soumis à l'accord préalable du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre.

Les véhicules légers habilités pourront accéder à la plateforme. 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, dans l'enceinte du chantier, sera réservée à la manœuvre des véhicules. Elle leur permettra de faire demi-tour avant de sortir du chantier.

Les engins de manutention seront équipés de dispositifs de sécurité sonores et lumineux.

6.1.1.3 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 faut noter que 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). Il ne s'agit bien souvent que de phases très temporaires (avant une perturbation).

L'île de France est exposée à de fortes rafales en toute saison en raison de la quasi-absence de reliefs et de la position assez proche des influences maritimes. Les orages peuvent également occasionner de puissantes rafales, notamment l'été.

Il faut noter que l'île de France est l'une des régions où les tornades sont les plus fréquentes. Les vastes plaines agricoles 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 ci-dessous présente les vitesses de vent mesurées en Ile de France et les périodes moyennes de retour.

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

Tableau 44 : Vitesse de vent et période moyenne de retour en Ile de France (Source : www.meteo-paris.com)

Ces données seront utilisées lors de l'étude d'avant-projet pour calculer la résistance au vent du mât de la tour de forage et des sous structures.

6.1.1.4 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 thermiques 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 tubes.

Concernant les bruits de manutention, des recommandations seront données au personnel afin d'éviter au maximum le choc entre des pièces métalliques.

6.1.1.5 Production d'eau ou de gaz géothermaux

Pour éviter toute production accidentelle d'eau chaude 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.

En cas de fuite de fluide, après fermeture de l'obturateur annulaire, l'artésianisme du puits pourra être contrôlé par injection de boue sous pression, ou de saumure de densité appropriée, par un piquage latéral de la tête de puits.

Les volumes des bacs à boue seront contrôlés en permanence. Conformément à la législation, des détecteurs de gaz seront installés, par la société de forage ou de contrôle de la boue, sur le circuit de boue, à la sortie du puits, pour identifier immédiatement toute émanation de gaz.

6.1.1.6 Stockage de produits divers

Aucun produit toxique ne sera 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. L'approvisionnement 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, bac de rétention...).

6.1.2 Protection de la santé du personnel sur le chantier

Le présent chapitre décrit 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. ».

6.1.2.1 Les mesures et les éléments de prévention

Registre de sécurité

Pendant la durée des travaux de forage, un registre de sécurité, consultable à tout moment par l'Administration, sera tenu à jour. Les notices d'utilisation des engins présents sur le chantier, ainsi que leurs certificats de conformité et leurs rapports de révision, seront inclus dans le registre de sécurité.

Les administrations et services suivants seront informés de l'existence du chantier et prévenus du démarrage des travaux, au moins une semaine à l'avance :

- DRIEE Ile de France ;
- ville de Chatenay-Malabry;
- préfecture et sous-préfecture des Hauts de Seine
- police et gendarmerie locale ;
- pompiers ;
- services médicaux d'urgence (SAMU ou SMUR) ;
- gestionnaires des réseaux d'assainissement ;
- médecins et pharmaciens les plus proches.

Consignes de sécurité

Une information, sur les règles de sécurité habituelles devant être respectées pendant les horaires de travail, sera dispensée par le chef de chantier forage ou le superviseur de forage. Cette information sera obligatoirement donnée aux personnels suivants :

- 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 à minima 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). 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 sa 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, avec leurs numéros de téléphones, des personnes et des services à contacter en cas d'accident :
 - les pompiers ;
 - les services médicaux d'urgence (SAMU ou SMUR) ;
 - les Préfets ;
 - la DRIEE ;
 - les services du maître d'œuvre ;
 - les services du maître d'ouvrage ;
 - 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 et pour informer la population sur la durée et l'objet des travaux.

Au moins un titulaire d'un brevet de secourisme sera présent sur le chantier de forage pendant toutes les périodes d'activité.

Un secouriste titulaire d'une attestation de secouriste du premier degré sera présent sur chaque atelier de forage ; si possible il y en aura un par équipe. Le chantier sera muni de trousse de secours.

6.1.2.2 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 de sécurité de l'entreprise de forage. On trouvera notamment :

- des extincteurs à poudre polyvalente ;
- des extincteurs à poudre de carbone ;
- une couverture anti-feu.

L'accès des emplacements de ce matériel sera aisé et bien signalé.

Une aire de stockage des produits inflammables, avec des bacs de rétention, sera délimitée en un lieu sûr, avec une signalisation appropriée et en particulier l'interdiction de fumer à proximité.

Les Pompiers interviendront selon leurs procédures.

6.1.2.3 Protection contre le sulfure d'hydrogène

Risque

Le sulfure d'hydrogène (H₂S) présente deux risques pour l'homme (Fiche sécurité en Annexe 7.11) :

- incendie : c'est un gaz extrêmement inflammable, ses limites d'explosivité, en pourcentage de volume dans l'air, sont comprises entre 4 % et 6 % ; si nécessaire, les Pompiers interviendront selon leurs procédures ;
- pathologie : les effets observés sont principalement liés à ses propriétés irritantes et anoxiantes.

Ce gaz étant soluble dans l'eau, le travail à la boue limite ses émanations lorsqu'il est en faible concentration, ce qui est le cas dans l'eau du Dogger.

D'autre part, le sulfure d'hydrogène reste dissous dans la boue en milieu basique (pH>8), ce qui sera le cas pendant les phases de forage, sauf venue d'eau géothermale importante.

La nocivité du sulfure d'hydrogène pour l'homme dépend du temps d'exposition de l'individu et de la concentration en H₂S dans l'air (Cf. tableau ci-dessous). L'intoxication humaine a lieu essentiellement par voie respiratoire.

Concentration	Temps (min.)				
	1	10	20	30	60
Seuil des effets létaux significatifs – SELS					
• mg/m ³	2 408	1 077	847	736	580
• ppm	1 720	769	605	526	414
Seuil des premiers effets létaux – SPEL					
• mg/m ³	2 129	963	759	661	521
• ppm	1 521	688	542	472	372
Seuil des effets irréversibles – SEI					
• mg/m ³	448	210	161	140	112
• ppm	320	150	115	100	80
Seuil des effets réversibles – SER					
• mg/m ³	ND	ND	ND	ND	ND
• ppm	ND	ND	ND	ND	ND

ND: Non déterminé

Tableau 45 : Seuils des effets toxiques selon l'INERIS (2004)

Il existe actuellement en France soit des valeurs dont le respect est obligatoire, soit des valeurs (Cf. tableau ci-dessous) qui fixent des objectifs de prévention. Les valeurs limites de court terme (VLCT) sont des valeurs mesurées sur une période de référence de 15 minutes. Elles sont destinées à éviter les effets toxiques dus à des pics d'exposition (exposition sur une courte durée). Les valeurs limites d'exposition sur 8 heures (VLEP 8h) sont destinées à protéger les salariés des effets différés des polluants.

Une VLEP 8 h peut être dépassée sur de courtes périodes, à condition de ne pas dépasser la VLCT correspondante si elle existe pour le produit.

En cas de dépassement d'une valeur limite d'exposition professionnelle :

- le dépassement d'une valeur contraignante doit entraîner l'arrêt du travail aux postes de travail concernés, jusqu'à la mise en œuvre des mesures propres à assurer la protection des salariés ;
- Le dépassement d'une valeur indicative doit amener à procéder à une nouvelle évaluation des risques, afin de déterminer des mesures de prévention et de protection adaptées.

VLEP selon le pays	Moyenne (sur 8 heures)		Court terme (15 min)	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
France (VLEP indicatives-circulaire)	5	7	10	14

Tableau 46: Valeurs limite d'exposition professionnelles indicatives selon l'INRS (2009)

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 sur le site, 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 (Valeur VLCT). Deux appareils portatifs seront également disponibles sur le chantier.

Au moins 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 de venue d'un bouchon gazeux, le puits serait immédiatement fermé (obturateur), et la société de forage procéderait à son évacuation contrôlée à très faible débit.

En cours de forage, des émanations d'hydrogène sulfuré (H₂S) pourront se produire pendant les tests de production, réalisés à la fin de chaque puits. Lors de ces tests le fluide géothermique est produit en surface sur une durée comprise entre 24 et 48 heures.

Une chaîne de neutralisation de l'H₂S, exigée dans le cadre de l'arrêté préfectoral relatif à l'autorisation d'ouverture des travaux, sera mise en place. Elle assurera la neutralisation de l'H₂S par injection d'un oxydant puissant, type Eau de Javel ou équivalent, en éliminant les nuisances olfactives de l'H₂S, odeur « d'œufs pourris » à faible concentration dès 1 ppm, et à supprimer les risques liés à la toxicité du gaz à partir de concentrations plus élevées de l'ordre de 100 ppm, lors des opérations de stimulation du réservoir par injection d'acide. Elle comportera la mise en place de ventilateurs aux endroits où le fluide géothermique 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 liés au sulfure d'hydrogène et à la conduite à tenir en cas d'éruption de sulfure d'hydrogène.

6.2 Document de sécurité et de santé durant l'exploitation d'un gîte géothermique

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.

6.2.1 Etude du scénario de fuite par percement d'un cuvelage en exploitation

L'état des tubages est régulièrement surveillé au cours de l'exploitation par :

- les contrôles règlementaires des paramètres d'exploitation réalisés conformément aux prescriptions des arrêtés préfectoraux d'exploitation (auscultations diagnostic et suivi chimique) ;
- la réalisation des diagraphies des cuvelages tous les trois ans pour le puits d'injection et tous les cinq ans pour le puits de production.

Si lors du suivi ou au cours de travaux sur les ouvrages (work-over, manœuvre d'équipements), il existe un doute sur l'étanchéité du cuvelage, des investigations seront conduites visant à déterminer la localisation et l'intensité de la fuite.

Les méthodes classiquement utilisées sont soit indirectes, comme le traçage à l'eau douce, ou les tests de pression par paliers de débit, soit elles nécessitent la descente d'instruments dans les puits : débitmétrie, diagraphies (CBL, VDL, multi bras, diamètre acoustique...)

Si ces investigations mettent en évidence l'exposition des aquifères à une contamination, une méthode de mise en sécurité est choisie, selon la fonction du puits, dans l'attente des travaux provisoires ou définitifs de réhabilitation du tubage :

- dans le cas d'un puits d'injection, un bridge plug c'est-à-dire un obturateur empêchant l'eau géothermale du Dogger de remonter dans le puits et de s'épancher dans les aquifères supérieurs, est mis en place ;
- dans le cas d'un puits producteur, la pression à l'intérieur du puits est abaissée par le maintien d'un débit de production pour que la pression hydrostatique soit inférieure, dans le puits, à celle de l'aquifère.

L'impact de la fuite sur la formation réceptrice peut, le cas échéant, être modélisé afin de prévoir l'étendue de la pollution et sa progression.

Il est à noter que dans le cas d'un puits d'injection, le délai de mise en œuvre des moyens d'investigations est relativement court de 2 à 3 jours environ, du fait de l'absence d'équipement dans le puits.

Pour le puits de production, la mise en œuvre des moyens d'investigations nécessite, au préalable, le relevage des équipements de pompage d'exhaure et du dispositif de traitement en fond de puits soit, au minimum, 4-5 jours.

La réparation, à la suite des investigations et des éventuelles mesures de mise en sécurité, visera à rétablir l'étanchéité du tubage vis-à-vis des terrains encaissants :

- si le percement concerne, ponctuellement, un tubage en bon état, une protection métallique de quelques dizaines de mètres de longueur collée sur le tubage au droit de la perforation (casing-patch) sera mis en place après le colmatage de la fuite par injection de ciment ;
- si le percement affecte un tubage ayant subi une corrosion généralisée, un rechemisage complet ou partiel du tubage sera réalisé. La perforation sera colmatée par injection de ciment, puis un tubage de diamètre inférieur au tubage à réparer sera mis en place et cimenté sur toute sa hauteur.

La durée d'une telle opération dépendra de la disponibilité d'un appareil de work-over et de la gravité de la perforation. On peut estimer à 1 ou 2 semaines la durée de ce type d'opération.

Après réparation, la qualité de la cimentation sera contrôlée par diagraphie et une diagraphie de calibrage, de référence, du tubage sera réalisée.

Lors des interventions dans les puits, l'artésianisme sera contrôlé, par injection de saumure, avant dépose de la tête de puits. Pendant les interventions, le niveau statique de la nappe sera contrôlé au moins 2 fois par

jour. En cas de remontée de ce niveau, un volume de saumure saturée de densité 1,20 pourra être approvisionné rapidement, depuis un bac de stockage, et injecté dans le puits.

6.2.2 Mesures de sécurité en cas de fuite

Les consignes particulières relatives aux fuites ou aux éruptions géothermales sont légèrement différentes.

Une fuite géothermale est l'apparition d'une fuite d'eau sur la boucle de surface au-dessus des vannes maîtresses de la tête de puits.

A l'inverse, une éruption est une fuite non contrôlée, apparaissant sur ou sous les vannes maîtresses de la tête de puits, avec un débit supérieur à la capacité maximale d'évacuation des pompes vide cave.

6.2.2.1 Cas d'une fuite géothermale

En cas d'apparition d'une fuite d'eau géothermale sur la boucle de surface entre les vannes maîtresses des puits de production et de réinjection, l'exploitant appliquera les consignes générales et déclenchera la procédure décrite ci-après :

- évaluation de la gravité de l'incident établie de façon à mettre en œuvre les moyens d'intervention adaptés ;
- avant toute intervention de réparation, l'Exploitant devra :
 - arrêter la production géothermale ;
 - consigner les variateurs de production et de réinjection et leur protection électrique ;
 - fermer les vannes maîtresses des puits dans les deux caves pour isoler la partie en surface de la boucle géothermale ;
 - veiller à tenir à disposition les équipements nécessaires à la réalisation de ces opérations ainsi que les équipements de protection individuels appropriés.

6.2.2.2 Cas d'une éruption

Une éruption non contrôlée des puits se produit si une fuite apparaît sur ou sous les vannes maîtresses, avec un débit supérieur à la capacité maximale des pompes vides cave de l'ordre de 30 m³/h.

Dans ce cas, le maître d'ouvrage doit contracter une entreprise spécialisée, possédant les moyens nécessaires au contrôle d'une éruption accidentelle des puits géothermaux, pouvant intervenir sur site dans un délai inférieur à 8 heures.

Cette entreprise a la capacité de :

- stocker et entretenir le matériel d'intervention ;
- maintenir en régime d'astreinte 4 personnes expérimentées ;
- mettre en œuvre les moyens de pompage et, si nécessaire, le traitement des eaux géothermales avant rejet à l'égout ;
- assurer l'ensemble des interventions pour stopper l'éruption.

Couramment, pour les installations géothermales du Dogger en Ile de France, le prestataire retenu est l'entreprise qui assure le suivi de la boucle géothermale. En raison de sa connaissance du fonctionnement générale des installations, du détail des éléments sensibles (vannes, brides, piquages...)

L'exploitant doit maintenir à disposition sur le site :

- des tuyaux et des colliers de réparation d'urgence ;

- des tenues d'intervention pour son personnel (équipement de protection individuel) ;
- du matériel d'urgence et de premiers soins (armoire à pharmacie) ;
- une pompe vide cave dans chaque cave ($\sim 30 \text{ m}^3/\text{h}$).

Les actions à mener dépendent de l'importance du débit de la fuite de fluide géothermique. Il est important de noter que, pour le puits de production en exploitation, aucune fuite ne peut être observée en surface du fait du rabattement.

Quelle que soit l'importance de la fuite, l'eau géothermique présente dans la cave devra être soit, évacuée par la pompe vide-cave soit, pompée par un équipement spécifique avant toute intervention sur la tête de puits.

Cas où le débit de fuite est inférieur à $5 \text{ m}^3/\text{h}$, quel que soit la nature du puits

Le débit d'eau géothermique de la fuite dans la cave pourra être évacué par simple pompage à l'aide de la pompe vide-cave. L'eau sera soit, réinjectée dans les autres puits du doublet, soit rejetée à l'égout après avoir été refroidie et diluée par mélange avec de l'eau douce.

Cas où le débit de fuite est supérieur à $5 \text{ m}^3/\text{h}$ au puits de production

Généralement, la fuite est observée en fond de cave lors d'un arrêt d'exploitation, programmé ou en cas de panne du groupe de pompage immergé. Dans ce cas, la tête de puits est en pression.

Lorsqu'il s'agit d'un arrêt programmé, la remise en fonctionnement de la boucle géothermique permet de rabattre le niveau d'eau dans le puits, avec pour effet d'arrêter l'écoulement de la fuite, ce qui permet de travailler à sa réparation.

Dans le cas d'une panne du groupe électropompe immergé, le débit de fuite est provoqué par l'artésianisme du puits, son importance dépendant de la dimension de la perforation. Dans un premier temps, il sera indispensable de refroidir le fluide géothermique et la tête de puits ainsi que d'évacuer l'eau présente dans la cave vers le réseau d'assainissement avec les moyens du site (pompe vide-cave et pompe complémentaire). Dans la mesure du possible, une vanne latérale, équipée d'un flexible d'évacuation de l'eau géothermique vers le réseau d'assainissement, sera ouverte pour diminuer la pression au point de fuite. Un ajout d'eau froide (prélevée sur le réseau de distribution) pourra être effectué pour abaisser la température et diluer le fluide géothermique.

L'entreprise chargée de réparer la fuite interviendra avec les moyens appropriés. Après installation de la pompe à saumure et de la citerne de saumure, la vanne latérale de la tête de puits sera fermée. Sa ligne d'évacuation sera utilisée comme conduite de refoulement de la pompe à saumure. Le puits sera mis sous saumure.

En fonction du débit de fuite et des difficultés rencontrées :

- un autre camion de saumure pourra être approvisionné ;
- les pompes vide-caves pourront permettre de réalimenter la citerne par la reprise, dans la cave, du mélange eau géothermique saumure venant de la fuite ;
- l'intervention de colmatage de la fuite sera effectuée une fois l'artésianisme contrôlé ; selon l'ampleur des dégâts, la réparation sera provisoire ou définitive.

6.2.3 Mesures prises pour protéger la population riveraine des odeurs liées aux émanations d' H_2S .

Au cours de l'exploitation du doublet, la boucle géothermique constitue un circuit fermé sans échange avec l'atmosphère. Le fluide géothermique extrait, au niveau du réservoir, circule dans le puits producteur, puis dans

les canalisations de surface et les échangeurs, avant d'être réintroduit dans le réservoir par le puits injecteur. L'étanchéité de ce système est contrôlée en permanence, ce qui permet d'éviter toute émanation de gaz en surface donc toute nuisance olfactive pour la population riveraine.

Ponctuellement, le circuit pourra être ouvert sur des périodes très courtes, en cas de purge des échangeurs par exemple. Dans ce cas, les nuisances olfactives seront extrêmement réduites.

6.2.4 Documents à présenter dans le cadre de travaux de maintenance

Sont concernées, les interventions que l'exploitant ou le délégataire est susceptible de faire réaliser sur les puits sous la supervision d'un maître d'œuvre :

- 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 (work-over).

A cette occasion, pour compléter le Plan de Prévention (PP), 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).

ANNEXES



7 ANNEXES

- 7.1 Présentation de Flowergy Chatenay-Malabry et du montage juridique du dossier**
- 7.2 Extrait KBIS Flowergy Chatenay-Malabry**
- 7.3 Présentation de CFG**
- 7.4 Présentation d'Eiffage Energie Systèmes**
- 7.5 Planning général du projet**
- 7.6 Convention et acte de propriétés de la SEMOP**
- 7.7 Dossier Loi sur l'eau de la ZAC La Vallée**
- 7.8 Carnet de compensation de la zone humide**
- 7.9 Descriptions des ZNIEFF et zone NATURA 2000**
- 7.10 Réponse ARS sur la liste des captages AEP**
- 7.11 Fiche toxicologique de l'hydrogène Sulfuré**
- 7.12 Arrêté préfectoral DCPAT n°2019 -21 en date du 25 février 2019 de la ZAC**
- 7.13 Prescription architecturales ZAC dont réseau eau pluviale**
- 7.14 Etude d'impact de la ZAC de Chatenay-Malabry, Even Conseil ,2018**
- 7.15 Avis de l'autorité environnementale sur l'étude d'impact de la ZAC de Chatenay-Malabry**